Journal of Water and Soil
Homepage: https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 6, Feb.-Mar., 2024, p. 871-890

The Impact of Agricultural Waste and Residue Composts on Two Consecutive Spinach Cultivations: 1- Response of Soil Fertility Indicators, Plant Nutrient Uptake, and Yield

Kh. Salarinik[1], M. Nael[2*]

1 and 2- Ph.D Student of Soil Science and Assistant Professor Deptartment of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.nael@basu.ac.ir)

Received:	05-08-2023
Revised:	16-12-2023
Accepted:	24-12-2023
Available Online:	24-12-2023

How to cite this article:
Salarinik, Kh., & Nael, M. (2024). The effect of agricultural waste and residue composts in two consecutive spinach cultivations: 1- response of soil fertility indicators, plant nutrient uptake, and yield. *Journal of Water and Soil, 37*(6), 871-890. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83762.1318

Introduction

Large amounts of agricultural waste such as straw, leaves and pulps, with high nutritional value are produced every year. Grape pomace (GP) is rich in macro- and micro-nutrients and can be used as a soil amendment. However, due to its slow decomposition rate and the spread of diseases and pests, it should not be applied directly to the soil. Therefore, GP is composted in combination with other wastes. There is not enough information about the composting of GP and the effect of the produced composts on soil fertility in Iran. Hence, the aims of this study were twofold: to explore the impact of various GP composts on both soil fertility and spinach yield, relative to two levels of urea fertilizer, through a pot experiment conducted over two consecutive cultivation seasons; to categorize soil treatments based on fertilization regimes and timing (season), thus elucidating any patterns or trends in the observed effects.

Materials and Methods

To investigate the effects of GP composts on soil fertility and spinach (Persius hybrid) yield, an outdoor pot experiment was conducted as a randomized complete block design with eight compost treatments, two levels of urea fertilizer (46%), and a control treatment (C0), in three replications and two continuous cropping seasons (spring and fall). Compost treatments included: high grape pomace (HG) (60-63%) with chickpea straw and alfalfa (HG-Ch-A), high GP with chickpea straw and sugar beet pulp (HG-Ch-B), high GP with alfalfa and sugar beet pulp (HG-A-B), high GP combined with chickpea straw, alfalfa, and sugar beet pulp (HG-All); four other compost treatments included low level of grape pomace (LG) (37-42%) combined with other residues/wastes similar to the first four treatments (LG-Ch-A, LG-Ch-B, LG-A-B, and LG-All). Urea treatments included: 150 kg per hectare (C150) (two-step top dressing) and 500 kg per hectare (C500) (three-step top dressing). A sandy loam soil was used for this experiment. The composts were separately mixed into the soil at a rate of 2% (by weight). The first crop was grown for 50 days in May 2018 and the second crop was grown for 45 days in September 2018. In both seasons, the fresh and oven-dried weigh of spinach shoot and root were determined. Also, total concentration of K, Na, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Cu, and NO_3^- were measured in spinach to determine the amount of soil elements taken up by the crop. In both seasons, soil pH and EC, and contents of soil organic carbon (OC), active carbon (AC), total nitrogen (TN), NO_3^-, NH_4^+, and exchangeable K, Ca, Mg, and Na, as well as available forms of P, Fe, Cu, and Zn were determined. One-way

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83762.1318

ANOVAs were applied separately to spring and fall data, and mean comparisons were made using Duncan's test at 0.05% level. To determine the similarities and dissimilarities of the different treatments based on their effect on soil characteristics, cluster analysis was performed on all soil characteristics that showed significant differences between treatments.

Results and Discussion

In both cultivation periods, TN levels exhibited no significant variance across treatments. Notably, the highest potassium (K) levels were consistently observed in the HG-All and LG-All treatments, while the lowest K levels were consistently recorded in the C0, C150, and C500 treatments. In the initial cultivation period, no notable differences were observed between the C0, C150, and C500 treatments, except for potassium (K) and ammonium (NH4+), with significantly higher levels detected in the C0 treatment. Conversely, during the second cultivation period, significant disparities were observed among the C0, C150, and C500 treatments solely in terms of nitrate (NO3-) content, with notably higher nitrate levels detected in the C150 and C500 treatments. Through cluster analysis, all treatments from both cultivation periods were categorized into five distinct groups. Specifically, the C0, C150, and C500 treatments for each season were consistently grouped together, respectively, into groups one and two. All compost treatments of each season, except the HG-All treatment in the spring cultivation, were grouped into one class. In the second cultivation, the HG-Ch-A showed significantly higher EC than all treatments, except the HG-Ch-B. The LG-A-B treatment showed the highest amount of OC and C/N (in both cultivations), and NH_4^+ and Cu (in the second cultivation). The HG-Ch-A and HG-Ch-B treatments increased TN, P, K, Mg, OC, and AC in the second cultivation compared to the first. The amounts of all macronutrients and micronutrients, except Fe and Ca, increased in the compost treatments compared to the control and chemical treatments. In addition, an increase in EC was observed in the compost treatments compared to the control and chemical treatments, and an increase in pH compared to the C500 treatment. In the first cultivation, the LG-Ch-A and C500 treatments had significantly higher yields than the control. In the second cultivation, the LG-All, HG-All, HG-Ch-A, and LG-A-B treatments were the best compost treatments, while the LG-Ch-B and HG-Ch-B treatments were the weakest treatments in terms of soil fertility and plant yield. In both seasons, the absorption of elements by spinach depended on multiple factors, including the element type, its available content in the soil, its initial content in the composts (or fertilizer), soil pH, and yield.

Conclusion

The application of GP composts over two consecutive growing seasons increased the levels of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, zinc, copper, active carbon and organic carbon in the soils. These results are very important as magnesium, copper and zinc are rarely applied by farmers. In contrast, depletion of all elements, except organic carbon, occurred in the control and chemical fertilizer treatments due to plant uptake of elements. The combination of chickpea straw with sugar beet pulp is not recommended for the production of GP compost, especially at low GP levels, due to its minimal effect on soil fertility and plant yield. Despite the positive effect of the GP composts in increasing soil fertility, the continuous application of large amounts of these composts is not recommended in the arid regions due to the increase in soil EC and pH. The difference between the compost treatments after two applications of GP composts was less than after one application; these results were confirmed by cluster analysis, in the sense that all compost treatments in the second season were placed in one cluster.

Keywords: Grape pomace, Organic carbon, Soil nitrate, Sugar beet pulp

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۴۰۲، ص. ۸۹۰-۸۷۱

تأثیر کمپوست برخی پسماندها و بقایای کشاورزی در دو کشت متوالی اسفناج: ۱- پاسخ شناسه‌های حاصلخیزی خاک، جذب عناصر غذایی و عملکرد گیاه

خدیجه سالاری نیک[1]- محسن نائل[2*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳

چکیده

استفاده از کمپوست پسماندهای کشاورزی در نظام‌های کشت یک مدیریتِ بالقوه پایدار در جهت بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد و سلامتی محصول است. در این پژوهش، تأثیر هشت کمپوست تولید شده از تفاله انگور (G) (در دو سطح کم (LG) (۳۷ تا ۴۲ درصد) و زیاد (HG) (۶۰ تا ۶۳ درصد)) در ترکیب با یونجه (A)، تفاله چغندر (B) و کاه نخود (Ch)، در مقایسه با دو سطح کود اوره (C150 و C500) و یک تیمار شاهد (C0)، بر حاصلخیزی خاک و عملکرد گیاه اسفناج در دو کشت متوالی (بهار و پاییز) مطالعه شد. عملکرد اسفناج در هر دو فصل کشت، اختلاف معناداری بین تیمارهای کمپوست و کود شیمیایی نشان نداد، بجز تیمار LG-Ch-A که در فصل بهار عملکرد بیشتری از تیمار C150 داشت. با این حال در کشت اول، تیمارهای LG-Ch-A و C500، و در کشت دوم، تیمارهای HG-All (متشکل از تمام مواد اولیه)، LG-All و LG-A-B به‌طور معناداری عملکرد بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. به‌دلیل جذب عناصر توسط گیاه، افزایش pH، افزایش مقدار کربن آلی خاک و هم‌چنین آبشویی در پی بارندگی شدید در کشت دوم، غلظت عناصر کم‌مصرف خاک در همه‌ی تیمارها نسبت به فصل اول کشت کاهش یافت. تیمارهای HG-Ch-A و HG-Ch-B سبب افزایش مقادیر N، P، K، Mg، کربن آلی و کربن فعال در فصل دوم کشت نسبت به فصل اول کشت شدند؛ در مقابل، کاهش مقدار نیتروژن کل در دو تیمار LG-Ch-A و LG-A-B نسبت به فصل اول کشت مشاهده شد. تیمار LG-All بهترین تیمار از نظر افزایش غلظت N، P و K، و کاهش غلظت نیترات خاک در بین همه‌ی تیمارها بود. تیمار HG-Ch-A با وجود افزایش هدایت الکتریکی خاک، به‌دلیل مقدار سدیم کم و حاصلخیزی بالا بعد از تیمار LG-All قرار گرفت. مقادیر تمام عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، بجز Fe و Ca، در تیمارهای کمپوست نسبت به تیمارهای شاهد و شیمیایی افزایش نشان داد. به‌علاوه، در تیمارهای کمپوست افزایش EC (۹ تا ۲۱۱ درصد) نسبت به تیمارهای شاهد و شیمیایی، و افزایش pH (۰/۲ تا ۳ درصد) نسبت به تیمار C500 مشاهده شد. در مقابل، تخلیه تمام عناصر، بجز کربن آلی، در تیمارهای کود شیمیایی و شاهد به دلیل جذب توسط گیاه اتفاق افتاد. تیمار C500 سبب افزایش غلظت نیترات خاک شد. برطبق تحلیل خوشه‌بندی، تیمارهای شاهد و شیمیایی کشت اول در گروه یک، تیمارهای شاهد و شیمیایی کشت دوم در گروه دو، تیمارهای کمپوستِ کشت دوم در گروه سه، تیمارهای کمپوست کشت اول، بجز تیمار HG-All، در گروه چهارم و تیمار HG-All کشت اول در گروه پنجم قرار گرفتند. به‌طور کلی با وجود تأثیر مثبت کمپوست‌های به‌کار رفته در افزایش حاصلخیزی خاک، استفاده پیوسته این ترکیبات آلی به مقدار زیاد، به‌دلیل افزایش EC و pH در خاک‌های مناطق خشک دارای محدودیت است.

واژه‌های کلیدی: تفاله انگور، تفاله چغندر، کربن آلی، نیترات خاک

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.nael@basu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83762.1318

مقدمه

کشاورزی آلی[1] زیر مجموعه‌ای از کشاورزی پایدار است که استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و تنظیم کننده‌های رشد گیاه را ممنوع می‌کند. اصول کشاورزی آلی حفظ حاصلخیزی خاک با مدیریت مواد مغذی بیولوژیک، بازیافت پسماندهای کشاورزی، تهیه کمپوست و ورمی‌کمپوست، حذف یا کاهش نهاده‌های خارجی وکنترل طبیعی آفات و علف‌های هرز است (Hansen *et al*., 2006). پسماندهای کشاورزی شامل مواد باقی‌مانده بعد از برداشت محصولات کشاورزی و همچنین مواد باقی‌مانده بعد از فرآوری نظیر کاه، برگ، و تفاله‌ها می‌باشد (Ajila *et al*., 2012). مقدار زیادی از پسماندهای جامد و مایع توسط کارخانه‌های فرآوری مواد غذایی تولید می‌شوند که دارای ارزش بالایی هستند (Mirabella *et al*., 2014). کاربرد پسماندهای کشاورزی به‌صورت کمپوست شده سبب کاهش آلودگی-های زیست محیطی ناشی از رها سازی آن‌ها در طبیعت نظیر آلودگی هوا، آب و خاک می‌شود (Ugwuoke *et al*., 2018). به‌علاوه، استفاده از کمپوست پسماندهای کشاورزی به‌منظور کاهش اثرات منفی کودهای شیمیایی و همچنین حفظ و بهبود کیفیت شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک حائز اهمیت است.

تفاله انگور پسماند جامد اصلی بعد از آب‌گیری انگور است که غنی از عناصر غذایی نظیر N، P، K، C و همچنین عناصر کم‌مصرف است. این پسماند حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از وزن انگور را شامل می‌شود (Eleonora *et al*., 2014) که با توجه به مقدار بالای تولید سالانه انگور در همدان (۴۱۶۶۶۹ تن) (Agriculture Jihad Organization of Hamedan Province, 2022)، تفاله انگور به‌مقدار زیاد توسط کارخانه‌های فراوری انگور و همچنین باغداران بعد از آب‌گیری انگور تولید می‌شود. بخشی از تفاله انگور برای تولید سرکه، تولید الکل و خوراک دام استفاده می‌شود و بخش اعظم آن در طبیعت رها می‌شود. با توجه به ارزش غذایی بالای تفاله انگور، این پسماند می‌تواند به‌عنوان اصلاح‌کننده آلی خاک بکار رود. با این حال، به‌دلیل سرعت تجزیه کم و همچنین خطر گسترش آلودگی، این پسماند نباید به‌طور مستقیم به خاک اضافه شود (Nerantzis & Tataridis, 2006)، بلکه باید به صورت کمپوست شده استفاده شود. از طرف دیگر، به‌دلیل pH اسیدی تفاله انگور (۳/۷ تا ۴/۵)، این پسماند باید در ترکیب با دیگر بقایا و کودهای دامی کمپوست شود (Eleonora *et al*., 2014). از جمله دیگر پسماندها، تفاله چغندر و ملاس می‌باشد که به‌ترتیب پسماند جامد و مایع حاصل از تولید شکر هستند که ارزش غذایی بالایی دارند و به مقدار زیاد توسط کارخانه‌های قند تولید می‌شوند. افزون بر این، امروزه به‌دلیل کشت زیاد نخود در همدان، مقدار زیادی کاه نخود تولید می شود. بنابراین، تفاله انگور را می‌توان همراه با کاه نخود، تفاله چغندر، و یا دیگر بقایا کمپوست نمود. کمپوست‌ها اثرات مثبتی در افزایش حاصلخیزی خاک دارند. با این‌حال، بسته به ماهیت و نوع مواد اولیه به کار رفته در تهیه کمپوست‌ها، این ترکیبات آلی می‌توانند دارای pH و شوری بالا و غلظت بالایی از فلزات سنگین باشند که در این صورت می‌توانند محدودیت استفاده داشته باشند.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه اثر کمپوست‌ها بر روی ویژگی های خاک انجام شده است. با این‌حال اثرات کمپوست‌های حاصل از تفاله انگور بر روی ویژگی‌های خاک چندان مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. النورا و همکاران (Eleonora *et al*., 2014) نسبت‌های مختلف کودمرغی و تفاله انگور را در تهیه کمپوست به‌کار بردند و اثرات کمپوست حاصله بر کیفیت خاک و رشد و سلامت کاهو را مورد بررسی قرار دادند. مارتینز و همکاران (Martínez *et al*., 2018) با کاربرد کمپوست حاصل از تفاله انگور و کود بز در تاکستان مشاهده کردند که مقدار عناصر غذایی، ماده آلی و فعالیت آنزیمی خاک نسبت به تیمار شاهد و تیمار کود شیمیایی افزایش پیدا کرد. فینچرا روبلز و همکاران (Fincheira-Robles *et al*., 2016) بیان کردند که کمپوست تفاله انگور سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تاکستان‌ها شد.

امروزه تأثیر کاربرد پسماندهای آلی و کمپوست‌ها در حفظ حاصلخیزی و افزایش کیفیت خاک و زیست‌فراهمی عناصر غذایی برای جذب توسط گیاهان همچنان مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با این‌حال اطلاعات کافی درباره‌ی تأثیر میان مدت کمپوست‌های حاصل از تفاله انگور بر کیفیت خاک، به‌ویژه در ایران وجود ندارد. با توجه به بررسی های انجام شده، تاکنون مطالعه‌ای درباره تهیه‌ی کمپوست از تفاله انگور و همچنین بررسی تأثیر کمپوست حاصل از تفاله انگور بر خاک در ایران انجام نشده است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی مدیریت کودی مرسوم در کشت اسفناج در منطقه (کاربرد کود شیمیایی اوره) و مقایسه‌ی آن با یک مدیریت حاصلخیزی پایدارتر (کاربرد کمپوست پسماندها و بقایای کشاورزی) می‌باشد. اهداف ویژه این تحقیق عبارتند از: ۱) بررسی تأثیر کمپوست‌های مختلف تفاله انگور بر حاصلخیزی خاک و عملکرد گیاه اسفناج و مقایسه آن با دو سطح کود شیمیایی اوره (میزان توصیه شده براساس نیاز کودی گیاه اسفناج و میزان به‌کار رفته توسط کشاورزان)، به‌عنوان تنها کود شیمیایی مورد استفاده توسط کشاورزان منطقه، در دو فصل کشت متوالیو ۲) گروه‌بندی تیمارهای خاک بر اساس تاثیر رژیم‌های کوددهی و مدت زمان (فصل کشت). کمپوست‌های تفاله انگور استفاده شده در این مطالعه قبلاً با ترکیب دو

1- Organic farming

سطح (کم و زیاد) تفاله انگور به‌عنوان جزء اصلی و دیگر پسماندهای کشاورزی (تفاله چغندر قند، کاه نخود و بقایای یونجه) در حضور ملاس چغندر تهیه شدند.

مواد و روش‌ها

تیمارها: به‌منظور بررسی اثر کمپوست تفاله انگور بر حاصلخیزی خاک، یک آزمایش گلدانی خارج گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۸ در دانشگاه بوعلی سینا، طراحی و انجام شد. این آزمایش در چارچوب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۸ تیمار کمپوست، دو سطح تیمار کود شیمیایی اوره و یک تیمار شاهد (C0) در سه تکرار و در دو نوبت (فصل بهار و فصل پاییز) انجام شد. تیمارهای کمپوست شامل: ۱) سطح بالای تفاله انگور (۶۰ تا ۶۳ درصد) همراه با کاه نخود و یونجه (HG-Ch-A)؛ ۲) سطح بالای تفاله انگور همراه با کاه نخود و تفاله چغندر (HG-Ch-B)؛ ۳) سطح بالای تفاله انگور همراه با یونجه و تفاله چغندر (HG-A-B)؛ ۴) سطح بالای تفاله انگور همراه با کاه نخود، یونجه و تفاله چغندر (HG-All)، و چهار تیمار دیگر کمپوست شامل سطح پایین تفاله انگور (۳۷ تا ۴۲ درصد) در ترکیب با سایر پسماندها/بقایا مشابه چهار تیمار اول بود (LG-Ch-A، LG-Ch-B، LG-A-B و LG-All).

روش تهیه کمپوست‌ها به این ترتیب بود: توده‌های کمپوست در ابعاد ۱ متر طول، ۱ متر عرض و ۰/۸ متر ارتفاع با نسبت‌های مختلف از مواد اولیه تهیه شد (جدول ۱). مقدار مشابهی از ملاس رقیق شده (با نسبت ۱ به ۲۰ ملاس به آب) نیز برای کوتاه کردن فرآیند کمپوست به هر تیمار اضافه شد. مواد اولیه در هر توده کمپوست کاملاً مخلوط شده و با یک ورقه پلاستیکی پوشانده شد. مرحله تهیه کمپوست به مدت ۱۸۲ روز از مهر ۱۳۹۷ تا اردیبهشت ۱۳۹۸ در دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. دمای توده‌های کمپوست به‌صورت دوره‌ای در مرکز توده‌ها، سه بار در هفته، در طول دوره کمپوست اندازه‌گیری شد. میزان رطوبت هر توده کمپوست به‌صورت هفتگی در مرکز آن بررسی شد و با افزودن آب مقدار رطوبت در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد تنظیم شد. توده‌های کمپوست هر دو هفته یکبار با یک چنگال باغبانی همزده می‌شدند تا هوادهی مناسب فراهم شود، دما زیر ۷۰ درجه سانتی‌گراد حفظ شود و از همگنی بهتر توده کمپوست اطمینان حاصل شود. پس از پایان فرآیند کمپوست، مواد کمپوست در هر توده مخلوط شده و از الک ۲۰ میلی‌متری عبور داده شد. سه نمونه از هر تیمار برای تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی جمع آوری شد.

جدول ۱- نسبت مواد اولیه‌ی مورد استفاده در تهیه کمپوست‌های مختلف (بر حسب وزن تر) و ویژگی‌های مواد اولیه

Table 1- The ratio of raw materials in compost piles (based on the fresh weight) and characteristics of raw materials

مواد اولیه Feedstock / تیمار Treatment	تفاله انگور Grape pomace	کود گاوی Cow manure	کود گوسفندی Sheep manure	کاه گندم Wheat straw	کاه نخود Chickpea straw	یونجه Alfalfa	تفاله چغندر Sugar beet pulp	ملاس Molasses
	(%)							
HG-Ch-A	63	7	7	11	4	4	-	4
HG-Ch-B	60	7	7	11	4	-	7	4
HG-A-B	60	7	7	11	-	4	7	4
HG-All	62	7	7	11	2	2	5	4
LG-Ch-A	42	8	8	12	13	13	-	4
LG-Ch-B	37	7	7	11	11	-	23	4
LG-A-B	37	7	7	11	-	11	23	4
LG-All	38	8	8	11	8	8	15	4
ویژگی‌ها Characteristics								
نیتروژن N (%)	1.89	1.80	1.64	0.32	1.02	3.27	1.40	1.24
کربن آلی OC (%)	42.7	35.3	28.8	37.7	34.0	39.1	35.8	27.4
نسبت کربن به نیتروژن C/N	22.6	19.6	17.6	117	3.3	12.0	25.6	22.1
پی‌اچ pH	4.2	9.1	8.6	6	4.8	5.7	5.1	7.4
هدایت الکتریکی EC (ms cm^{-1})	3.3	7.8	7.9	2.1	4.5	4.9	1.3	9.0

HG: سطح بالای تفاله انگور؛ LG: سطح کم تفاله انگور؛ C: کود گاوی؛ Sh: کود گوسفندی؛ B: تفاله چغندر؛ Ch: کاه نخود؛ A: یونجه؛ All: متشکل از تمام مواد اولیه

HG: High level of grape pomace; LG: Low level of grape pomace; C: Cow manure; Sh: Sheep manure; B: Sugar beet pulp; Ch: Chickpea straw; A: Alfalfa; All: Composed of the all raw materials.

جدول ۲- ویژگی‌های اولیه خاک و کمپوست‌های نهایی

Table 2- Characteristics of the initial soil and final composts

شناسه‌ها Indicators	خاک اولیه Initial soil	کمپوست‌ها Composts							
		HG-Ch-A	LG-Ch-A	HG-Ch-B	LG-Ch-B	HG-A-B	LG-A-B	HG-All	LG-All
pH	8.26	8.4 ^{b}	8.1 ^{d}	8.6 ^{a}	8.4 ^{b}	8.0 ^{de}	8.3 ^{c}	8.1 ^{d}	8.0 ^{e}
نسبت کربن به نیتروژن C/N	9.17	12.7 ^{bcd}	12.6 ^{bcd}	14.2 ^{ab}	15.4 ^{a}	13.3 ^{abc}	11.3 ^{cd}	12.4 ^{bcd}	10.7 ^{d}
نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^-	0.71	0.0054 ^{cd}	0.0029 ^{d}	0.0135 ^{b}	0.0110 ^{bc}	0.1072 ^{a}	0.0094 ^{bc}	0.0732 ^{a}	0.0090 ^{bc}
نسبت جذب سدیم SAR	ND*	6.3 ^{a}	6.5 ^{a}	6.1 ^{a}	7.1 ^{a}	6.4 ^{a}	7.5 ^{a}	7.2 ^{a}	5.5 ^{a}
هدایت الکتریکی EC (μs cm^{-1})	250	833 ^{b}	1460 ^{a}	546 ^{d}	776 ^{b}	800 ^{b}	837 ^{b}	642 ^{c}	786 ^{b}
فسفر P (mg kg^{-1})	13.5	3627 ^{a}	3473 ^{ab}	3113 ^{bc}	3033 ^{c}	3083 ^{c}	2833 ^{c}	2713 ^{d}	2573 ^{d}
پتاسیم K (mg kg^{-1})	265.3	12567 ^{a}	12567 ^{a}	11767 ^{a}	10900 ^{a}	10677 ^{a}	12500 ^{a}	12367 ^{a}	11000 ^{a}
سدیم Na (mg kg^{-1})	155.6	2600 ^{ab}	2090 ^{bc}	2430 ^{abc}	2700 ^{a}	2053 ^{c}	2460 ^{abc}	2427 ^{abc}	2020 ^{c}
کلسیم Ca (mg kg^{-1})	1282.6	2296 ^{ab}	2797 ^{ab}	1587 ^{c}	1280 ^{c}	2463 ^{ab}	2088 ^{b}	2714 ^{ab}	3090 ^{a}
منیزیم Mg (mg kg^{-1})	12.2	2609 ^{a}	760 ^{b}	2761 ^{a}	2533 ^{a}	963 ^{b}	1343 ^{b}	963 ^{b}	1241 ^{b}
آهن Fe (mg kg^{-1})	4.5	8104 ^{cde}	7687 ^{de}	10689 ^{a}	8886 ^{bcd}	7555 ^{e}	9565 ^{ab}	9322 ^{bc}	9839 ^{ab}
روی Zn (mg kg^{-1})	0.39	112 ^{a}	103 ^{ab}	115 ^{a}	108 ^{ab}	97 ^{b}	106 ^{ab}	104 ^{ab}	105 ^{ab}
مس Cu (mg kg^{-1})	0.59	34.8 ^{a}	32.1 ^{a}	35.5 ^{a}	34.3 ^{a}	35.1 ^{a}	33.5 ^{a}	34.3 ^{a}	33.2 ^{a}
آمونیوم NH_4^+ (mg kg^{-1})	26.4	2.8 ^{c}	3.7 ^{bc}	3.4 ^{bc}	5.0 ^{bc}	38.7 ^{a}	4.5 ^{bc}	35.1 ^{a}	6.9 ^{b}
نیترات NO_3^- (mg kg^{-1})	36.3	524 ^{c}	1291 ^{a}	255 ^{e}	483 ^{cd}	362 ^{de}	491 ^{cd}	478 ^{cd}	787 ^{b}
کربن آلی OC (%)	0.64	15.6 ^{ab}	19.1 ^{a}	19.5 ^{a}	15.0 ^{ab}	16.0 ^{ab}	12.5 ^{bc}	14.2 ^{bc}	10.0 ^{c}
نیتروژن کل TN (%)	0.07	1.2 ^{abc}	1.5 ^{a}	1.4 ^{ab}	1.0 ^{c}	1.2 ^{abc}	1.1 ^{bc}	1.1 ^{bc}	0.9 ^{c}

HG: سطح بالای تفاله انگور؛ LG: سطح کم تفاله انگور؛ A: یونجه؛ B: تفاله چغندر؛ Ch: کاه نخود؛ All: متشکل از تمام مواد اولیه. در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت اختلاف معناداری دارند ($p<0.05$).

*:اندازه‌گیری نشده است.

HG: High level of grape pomace; LG: Low level of grape pomace; A: Alfalfa; B: Sugar beet pulp; Ch: Chickpea straw; All: All three raw materials. Means followed by different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

*: Not determined.

برای ارزیابی کیفیت کمپوست‌های بالغ، تمامی داده‌های به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌های کمپوست با چندین استاندارد پایه‌گذاری شده برای کمپوست مقایسه شد. شناسه‌های کیفیت و بلوغ کمپوست و استانداردهای استفاده شده برای ارزیابی آن‌ها در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. مقدار آمونیوم، نیترات و نسبت آمونیوم به نیترات از جمله شناسه‌های تعیین بلوغ کمپوست می‌باشد. کمپوست زمانی بالغ در نظر گرفته می‌شود که میزان نیترات بالاتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد و آمونیوم و نیتریت کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد (Van der Wurff *et al.*, 2016). با این حال، زمانی که مجموع غلظت آمونیوم و نیترات کمپوست بالاتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، نسبت آمونیوم به نیترات در مقایسه با مقدار مطلق نیترات و آمونیوم، شاخص مناسب-تری برای ارزیابی بلوغ کمپوست خواهد بود. نسبت آمونیوم به نیترات در کمپوست بسیار بالغ به صفر تمایل دارد (CQCC- California Compost Quality Council, 2001; Van der Wurff *et al.*, 2016).

جدول ۳- شناسه‌های اندازه‌گیری شده در کمپوست و حدود استانداردی مختلف برای شاخص‌های بلوغ و کیفیت کمپوست

Table 3- Parameters determined in final composts and different standard threshold levels of maturity and quality indicators for compost

شناسه‌ها Parameters	روش‌های اندازه‌گیری Measurement methods	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI)		سازمان بهداشت جهانی The World Health Organization (WHO)	طرح تضمین کیفیت اروپا European Quality Assurance Scheme (ECN-QAS)	شورای وزیران محیط زیست کانادا Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)		شورای کیفیت کمپوست کالیفرنیا California Compost Quality Council (CCQC)	
		A	B			A	B	خیلی رسیده Very Mature	رسیده Mature
خاکستر Ash (%)	(Yeomans & Bremner, 1988)	50	50						
ماده آلی OM (%)		>35	>25	10-30	>15	>30	>15	>30	
کربن آلی OC (%)	CHNS analyzer	>25	>15						
پی‌اچ pH (1:10 compost to water ratio)	(Papadimitriou *et al.*, 1997)	6-8	6-8	6-9	4-9				
هدایت الکتریکی EC (ds m^{-1}) (1:5 compost to water ratio)	(Sánchez-Monedero *et al.*, 2001)	<8	<14		≤1.9				
نسبت جذب سدیم SAR		<10	<10						
پتاسیم K (mg kg^{-1})	(Zheljazkov & Warman, 2002) flame photometry	5000-18000	5000-18000	1000-28000					
سدیم Na (mg kg^{-1})					≤250 mg/L				
کلسیم Ca (mg kg^{-1})	(Zheljazkov & Warman, 2002) (Cheng & Bray, 1951)								
منیزیم Mg (mg kg^{-1})									
فسفر P (mg kg^{-1})	(Zheljazkov & Warman, 2002) (Motsara & Roy, 2008)	10000-38000	3000-38000	2000-38000					
آهن Fe (mg kg^{-1})									
روی Zn (mg kg^{-1})	(Zheljazkov & Warman, 2002) atomic absorption spectrometer	<1300	<1300	800-1200	<600	<500	<1850	200	500
مس Cu (mg kg^{-1})		<650	<650	90-260	<300	<100	<750	70	150
نیتروژن N (%)	CHNS analyzer	1.25-1.66	1-1.5	0.3-1.5					
آمونیوم NH_4^+(mg kg^{-1})	(Riley & Sinhaseni, 1957)							<75	75-500
نیترات NO_3^-(mg kg^{-1})	(Cataldo *et al.*, 1975)								
نسبت آمونیوم به نیترات NH_4/NO_3		0.5-3	0.5-3					<0.5	0.5-3
شاخص جوانه زنی GI (%)	(Van der Wurff *et al.*, 2016)	>70	>70	>90	>80	>90	>90	>90	80-90
نسبت کربن به نیتروژن C:N (mature)		15-20	10-15	≤25	≤25	≤25	≤25	<25	<25
رطوبت Moisture (mature) (%)		>15	>35	30-50	30-60	30-60	30-60		

برنال و همکاران (Bernal *et al*., 1998) مقدار این نسبت را کمتر از ۰/۱۶ در کمپوست بالغ با مواد اولیه مختلف تعیین کرده‌اند. برای تیمارهای کود شیمیایی از کود اوره ۴۶ درصد به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (C150) (اضافه شده در دو مرحله در طول دوره رشد گیاه) و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار (C500) (اضافه شده در سه مرحله در طول دوره رشد گیاه) استفاده شد. لازم به ذکر است که اوره تنها کود شیمیایی است که توسط کشاورزان منطقه و به مقدار بسیار بالا در کشت اسفناج استفاده می‌شود. برای این آزمایش از یک خاک لومی شنی (مقدار رس ۶٪ ، سیلت ۱۸٪ و شن ۷۶٪) استفاده شد (جدول ۲).

کشت: در اردیبهشت ۱۳۹۸، قبل از کشت اسفناج (رقم هیبرید پرسیوس)، کمپوست‌های رسیده به مقدار ۲ درصد وزنی، به‌طور یکنواخت با خاک هر گلدان مخلوط شدند. وزن خاک و کمپوست در هر گلدان معادل ۷/۸ کیلوگرم بود. به‌دلیل وجود عوامل بیماری‌زا و آفات گوناگون در گلخانه و نیز گرم بودن گلخانه و نبود تهویه‌ی مناسب در زمان کشت اسفناج، و با توجه به اینکه گرمای زیاد برای رشد اسفناج محدودیت ایجاد می‌کند، کشت در خارج از گلخانه انجام شد. در هر گلدان ۱۵ بذر در عمق ۱ سانتی‌متری کشت شد. آبیاری با آب شهری به‌صورت روزانه (به دلیل گرمای هوا) برای حفظ رطوبت خاک در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد. بعد از جوانه‌زنی، ۵ بوته سالم در هر گلدان حفظ شد. پس از گذشت ۵۰ روز و اتمام فصل اول کشت (بهار)، برداشت کامل گیاه و سپس نمونه‌برداری از خاک انجام شد. مجددا در شهریور ۱۳۹۸، به خاک قبلی هر گلدان مقادیر مشابه کمپوست و کود شیمیایی به‌ترتیبی که در بالا ذکر شد، اضافه شد و نوبت دوم کشت (پاییز) اجرا شد. در کشت پاییز به‌دلیل تعدیل دمای هوا، آبیاری یک روز در میان انجام شد. پس از ۴۵ روز از زمان کشت، به‌دلیل اطلاعیه صادر شده از طرف سازمان هواشناسی مبنی بر وقوع بارندگی شدید، کاهش محسوس دما و از بین رفتن محصولات کشاورزی به دلیل یخزدگی، برداشت اسفناج قبل از بارندگی انجام شد. بارندگی به مدت چند روز ادامه داشت و بعد از آن دما به شدت کاهش یافت.

بعد از اتمام دوره رشد دوم، مجددا از خاک و گیاه نمونه‌برداری شد. در کشت دوم به‌دلیل بارندگی زیاد، نمونه‌برداری خاک یک هفته بعد از نمونه‌برداری گیاه به تعویق افتاد و پس از بهبود شرایط آب و هوایی و کاهش رطوبت گلدان‌ها انجام شد.

نمونه‌برداری از گیاه: بعد از اتمام هر دوره رشد، نمونه‌برداری از اندام هوایی و ریشه گیاه در صبح زود انجام شد. نمونه‌ها درون پاکت کاغذی قرار گرفته و به منظور تعیین عملکرد و غلظت عناصر به آزمایشگاه منتقل شدند. برای تعیین وزن تر، نمونه‌ها سریع وزن شدند. سپس نمونه‌ها برای تعیین وزن خشک درون آون در دمای ۷۰ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. برای تعیین مقدار جذب عناصر غذایی توسط گیاه، ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه‌های آون‌خشک گیاه توسط اسید نیتریک و هیدروژن پراکسید هضم شد (Huang & Schulte, 1985). غلظت روی، آهن و مس توسط دستگاه جذب اتمی (Varian Spectra AA 220 FS atomic absorption spectrophotometer)، و مقادیر سدیم و پتاسیم به روش فلیم فوتومتری (PFP7 flame photometer) تعیین شد. مقدار فسفر به روش فسفومولیبدات–وانادات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتری تعیین شد (Estefan *et al*., 2013). برای اندازه گیری نیترات از روش سالیسیلیک اسید بهره‌گیری شد (Cataldo *et al*., 1975). غلظت کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (Cheng & Bray, 1951). سپس مقدار جذب هر عنصر توسط گیاه به وسیله‌ی فرمول زیر تعیین شد:

$$U_x = C_x . Y / 100$$

در این رابطه، U_x مقدار جذب یک عنصر بر حسب گرم در گلدان، C_x مقدار عنصر در گیاه بر حسب درصد در واحد وزن تر و Y عملکرد وزن تر بر حسب گرم در گلدان می‌باشد.

نمونه‌برداری از خاک: بعد از هر نوبت نمونه‌برداری از گیاه در فصل بهار و پاییز، نمونه‌برداری از خاک انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و هوا خشک شدند. بعد از کوبیدن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متر، pH (Hendershot *et al*., 2007) و هدایت الکتریکی (Rhoades, 1996) در نسبت آب به خاک ۲:۱ تعیین شد. مجموع کاتیون‌های محلول و تبادلی با استات آمونیوم خنثی (Klute, 1966) عصاره‌گیری شد و مقدار K و Na به‌روش فیلم فوتومتری، و Ca و Mg به‌روش تیتراسیون (Cheng & Bray, 1951) اندازه‌گیری شد. کربن آلی به روش اکسایش تر (Walkley & Black, 1934)، کربن فعال با استفاده از محلول ۰/۰۲ مولار پرمنگنات پتاسیم (Weil *et al*., 2003)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (Rutherford *et al*., 2008)، آمونیوم (Riley & Sinhaseni, 1957) و نیترات (Cataldo *et al*., 1975; Vendrell & Zupancic, 1990) به روش اسپکتروفوتومتری، و فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (Olsen *et al*., 1954) تعیین شد. روی، آهن و مس فراهم بعد از عصاره‌گیری با DTPA ۰/۰۰۵ مولار (Lindsay & Norvell, 1978) با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. تحلیل‌های آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (SAS Institute Inc, 2013) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌روش ANOVAs انجام شد. مقایسات میانگین به‌روش دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد و برای هر نوبت کشت به‌طور جداگانه انجام شد. برای یافتن شباهت‌ها و تفاوت‌های تیمارهای مختلف براساس تأثیر آن‌ها بر کل ویژگی‌های خاک، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای با استفاده از تمام متغیرهای خاکی که به لحاظ آماری دارای تفاوت معنادار بودند، انجام شد. برای جلوگیری از تأثیر مقیاس واحدهای اندازه گیری، تمام متغیرها استاندارد شد و با روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای و اندازه‌گیری فاصله‌ی اقلیدوسی، گروه‌بندی تیمارهای آزمایشی توسط

نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

کشت اول (فصل بهار): اختلاف آماری معناداری برای تمام شناسه‌ها، بجز نیتروژن کل، در بین تیمارها مشاهده شد. مقادیر کربن آلی، هدایت الکتریکی، پتاسیم فراهم و نسبت کربن به ازت در تیمارهای کمپوست به‌طور معناداری بیشتر از تیمارهای کود شیمیایی و شاهد بود. نتیجه عکس برای مقدار آمونیوم مشاهده شد. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی (۶۷۷/۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر)، نسبت کربن به ازت (۱۰/۸)، مس (۰/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی (۱/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و فسفر (۲۲/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، و کمترین مقدار آهن فراهم (۴/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار LG-All مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ٤- تاثیر هشت تیمار کمپوست تفاله انگور و دو سطح کود شیمیایی اوره بر ویژگی‌های خاک

Table 4- The effect of eight grape pomace composts and two levels of urea fertilizer on selected soil properties

تیمارها Treatments	pH	هدایت الکتریکی EC	کربن آلی OC	نیتروژن کل TN	نسبت کربن به نیتروژن C:N	کربن فعال AC	نیترات NO_3^-	آمونیوم NH_4^+	پتاسیم K	سدیم Na	کلسیم Ca	منیزیم Mg	مس Cu	روی Zn	آهن Fe	فسفر P
		(μs cm^{-1})	(%)			(mg kg^{-1})										
بهار Spring																
C0	8.21^{bc}	410.3^{c}	0.49^{bc}	0.07^{a}	6.5^{bc}	218.8^{cd}	70.0^{a}	43.8^{a}	247.4^{d}	159.7^{b}	1295.9^{b}	85.1^{abc}	0.73^{a}	0.62^{c}	4.95^{b}	13.24^{bc}
C150	8.23^{abc}	376.0^{c}	0.47^{c}	0.08^{a}	5.9^{c}	258.0^{bc}	98.7^{a}	30.7^{b}	200.0^{e}	161.1^{b}	1339.3^{ab}	83.1^{abc}	0.71^{abc}	0.61^{c}	4.45^{b}	15.10^{bc}
C500	8.19^{bc}	352.0^{c}	0.50^{bc}	0.07^{a}	7.7^{abc}	236.6^{cd}	83.8^{ab}	30.3^{b}	165.5^{e}	163.8^{b}	1336.0^{ab}	85.1^{abc}	0.72^{abc}	0.62^{c}	6.58^{ab}	11.24^{c}
HG-Ch-A	8.43^{abc}	505.7^{ab}	0.60^{ab}	0.08^{a}	8.1^{abc}	286.5^{bc}	120.2^{a}	16.6^{de}	288.4^{bcd}	233.8^{a}	1302.6^{b}	85.1^{abc}	0.65^{c}	0.78^{abc}	6.03^{ab}	17.01^{b}
HG-Ch-B	8.49^{ab}	422.3^{bc}	0.66^{a}	0.07^{a}	10.4^{a}	338.8^{ab}	105.9^{a}	16.8^{de}	265.3^{d}	219.5^{ab}	1362.7^{ab}	64.9^{abc}	0.67^{abc}	0.97^{ab}	4.96^{b}	14.64^{bc}
HG-A-B	8.35^{abc}	594.3^{a}	0.64^{a}	0.07^{a}	9.3^{ab}	242.2^{cd}	54.1^{bcd}	21.6^{bcde}	273.0^{cd}	168.0^{b}	1376.1^{ab}	40.5^{c}	0.66^{abc}	0.89^{ab}	5.39^{ab}	17.84^{b}
HG-All	8.33^{abc}	566.0^{ab}	0.69^{a}	0.07^{a}	10.1^{a}	291.8^{bc}	21.1^{d}	18.4^{de}	334.5^{a}	214.2^{ab}	1356.0^{ab}	105.4^{a}	0.73^{a}	0.82^{abc}	7.99^{a}	15.88^{bc}
LG-Ch-A	8.32^{abc}	619.0^{a}	0.69^{a}	0.08^{a}	9.5^{ab}	171.1^{d}	79.5^{abc}	23.0^{bcd}	282.0^{cd}	200.0^{ab}	1356.0^{ab}	73.0^{abc}	0.70^{abc}	0.93^{ab}	4.95^{b}	15.23^{bc}
LG-Ch-B	8.54^{a}	550.0^{ab}	0.66^{a}	0.07^{a}	9.7^{ab}	372.3^{a}	110.3^{a}	10.9^{e}	257.6^{d}	203.6^{ab}	1416.2^{a}	52.7^{bc}	0.65^{c}	0.73^{bc}	5.25^{ab}	16.80^{b}
LG-A-B	8.39^{abc}	612.7^{a}	0.72^{a}	0.08^{a}	10.1^{a}	259.6^{bc}	41.9^{cd}	19.9^{cde}	310.1^{abc}	192.9^{ab}	1416.2^{a}	83.1^{abc}	0.72^{abc}	0.88^{ab}	5.38^{ab}	16.71^{b}
LG-All	8.13^{c}	677.3^{a}	0.70^{a}	0.07^{a}	10.8^{a}	269.0^{bc}	80.3^{abc}	20.6^{bcde}	329.3^{ab}	192.9^{ab}	1362.7^{ab}	97.3^{ab}	0.74^{a}	1.01^{a}	4.22^{b}	22.13^{a}
پاییز Fall																
C0	8.49^{ab}	160.3^{de}	0.60^{fg}	0.05^{b}	12.1^{bc}	228.4^{c}	36.7^{de}	14.4^{bc}	181.2^{c}	154.2^{a}	1128.9^{ab}	48.6^{bc}	0.53^{d}	0.51^{ef}	3.93^{a}	12.0^{b}
C150	8.49^{ab}	130.3^{e}	0.55^{g}	0.06^{ab}	9.5^{c}	254.9^{c}	81.0^{abc}	11.2^{c}	170.0^{c}	154.9^{a}	1148.9^{ab}	56.7^{bc}	0.58^{bcd}	0.55^{def}	4.44^{a}	8.1^{b}
C500	8.35^{b}	182.7^{cde}	0.66^{efg}	0.05^{b}	14.9^{abc}	195.6^{c}	104.8^{a}	13.9^{c}	158.8^{c}	154.9^{a}	1149.0^{ab}	48.6^{bc}	0.57^{bcd}	0.45^{f}	4.25^{a}	12.2^{b}
HG-Ch-A	8.44^{ab}	405.3^{a}	0.95^{ab}	0.08^{a}	12.4^{bc}	437.6^{a}	53.9^{cde}	19.1^{abc}	310.1^{ab}	154.9^{a}	1035.4^{bc}	109.4^{a}	0.58^{bcd}	0.78^{abc}	3.91^{a}	21.3^{a}
HG-Ch-B	8.37^{b}	312.7^{ab}	0.79^{cde}	0.08^{a}	11.3^{bc}	375.4^{ab}	37.8^{de}	19.1^{abc}	284.9^{b}	157.7^{a}	1045.4^{bc}	75.0^{ab}	0.54^{cd}	0.62^{cdef}	3.48^{a}	18.6^{a}
HG-A-B	8.39^{ab}	216.7^{cd}	0.81^{bcd}	0.07^{ab}	11.1^{bc}	340.4^{b}	81.9^{abc}	14.9^{bc}	286.3^{b}	152.1^{a}	1005.3^{c}	93.2^{ab}	0.58^{bcd}	0.72^{abc}	3.85^{a}	25.7^{a}
HG-All	8.49^{ab}	220.7^{cd}	0.92^{abc}	0.07^{ab}	14.0^{abc}	388.4^{ab}	45.6^{de}	23.3^{ab}	311.5^{ab}	154.9^{a}	1209.1^{a}	56.7^{bc}	0.59^{bcd}	0.63^{cde}	3.28^{a}	21.8^{a}
LG-Ch-A	8.52^{ab}	270.0^{bc}	0.90^{abc}	0.06^{ab}	15.8^{ab}	365.0^{ab}	95.6^{ab}	17.8^{abc}	289.1^{ab}	160.6^{a}	1115.6^{abc}	77.0^{ab}	0.56^{bcd}	0.87^{a}	3.85^{a}	22.8^{a}
LG-Ch-B	8.58^{a}	255.7^{bc}	0.70^{def}	0.07^{ab}	12.0^{bc}	368.9^{ab}	61.9^{cd}	16.5^{bc}	283.5^{b}	164.8^{a}	1195.7^{a}	22.3^{c}	0.63^{ab}	0.69^{bcd}	4.19^{a}	19.1^{a}
LG-A-B	8.44^{ab}	246.3^{bc}	1.04^{a}	0.05^{b}	19.5^{a}	365.0^{ab}	67.2^{bcd}	25.8^{a}	298.9^{ab}	157.7^{a}	1215.8^{a}	77.0^{ab}	0.69^{a}	0.83^{ab}	4.26^{a}	20.7^{a}
LG-All	8.49^{ab}	199.0^{cde}	0.92^{abc}	0.08^{a}	13.3^{bc}	348.2^{b}	25.6^{e}	18.5^{abc}	324.1^{a}	158.5^{a}	1235.8^{a}	64.9^{bc}	0.62^{abc}	0.78^{abc}	3.60^{a}	25.5^{a}

C0: شاهد؛ C150: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره ۴۶ درصد؛ C500: ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره ۴۶ درصد؛ HG: سطح بالای تفاله انگور؛ LG: سطح کم تفاله انگور؛ A: یونجه؛ B: تفاله چغندر؛ Ch: کاه نخود؛ All: متشکل از تمام مواد اولیه؛ در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت اختلاف معناداری دارند ($p<0.05$).

C0: Control; C150: 150 kg ha^{-1} of urea 46%.; C500: 500 kg ha^{-1} of urea 46%; HG: High level of grape pomace; LG: Low level of grape pomace; A: Alfalfa; B: Sugar beet pulp; Ch: Chickpea straw; All: All three raw materials. Means followed by different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

به‌نظر می رسد به‌دلیل غلظت پایین نیتروژن در کمپوست LG-All (جدول ۲)، مقدار عملکرد گیاه کاهش (جدول ۵) و بنابراین کمترین مقدار جذب عناصر توسط گیاه در این تیمار (LG-All) رخ داده باشد (جدول ۶). این امر سبب شده است پتاسیم، فسفر، منیزیم، روی و مس کمتری از خاک خارج شود. از طرف دیگر، وجود همبستگی مثبت بین مقدار کربن آلی با مقدار پتاسیم (۰/۶۷۳)، فسفر (۰/۳۷۶) و روی فراهم (۰/۵۱۲) نشان دهنده نقش ماده آلی و کربن آلی در افزایش حاصلخیزی خاک می‌باشد.

بیشترین مقدار پتاسیم (۳۳۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، منیزیم (۱۰۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آهن (۷/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار HG-All مشاهده شد. کمپوست HG-All دارای مقدار بالای پتاسیم و آهن در مقایسه با دیگر کمپوست‌ها (جدول ۲) می‌باشد. از طرف دیگر کمترین جذب آهن، و کاهش قابل توجه جذب عناصر منیزیم و پتاسیم توسط گیاه در این تیمار رخ داده است (جدول ۶). این کاهش جذب می‌تواند تحت تأثیر مقدار کم نیتروژن و نیترات در کمپوست متناظرش و به دنبال آن کاهش عملکرد ایجاد شده در این تیمار باشد (جدول ۵).

تیمار LG-Ch-B بیشترین مقدار pH (۸/۵۴)، کربن فعال (۳۷۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کلسیم (۱۴۱۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، و کمترین مقدار آمونیوم (۱۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مس (۰/۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم) را در بین تیمارها داشت. در کمپوست LG-Ch-B ، مقدار pH بالا و غلظت آمونیوم کم است (جدول ۲). از طرف دیگر، مس بیشتری توسط گیاه از خاک تیمار شده با کمپوست LG-Ch-B، در مقایسه با غالب تیمارها، خارج شده است (جدول ۶).

مقدار نیترات در تیمارهای HG-Ch-A، HG-Ch-B و LG-Ch-B بیشتر از دیگر تیمارها بود (به‌ترتیب ۱۲۰/۲، ۱۰۵/۹ و ۱۱۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم). این می‌تواند به دلیل مقدار نیتروژن بیشتر در کمپوست‌های HG-Ch-A و HG-Ch-B (جدول ۲) و همچنین جذب کمتر نیترات توسط گیاه در خاک‌های تیمار شده با تیمارهای HG-Ch-A و LG-Ch-B باشد (جدول ۶).

مقایسه دو سطح تفاله انگور نشان داد که تیمار LG-All، مقدار نیترات و فسفر بیشتر (به‌ترتیب ۸۰/۳ و ۲۲/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مقدار آهن فراهم (۴/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتری نسبت به تیمار HG-All (به‌ترتیب ۲۱/۱، ۱۵/۸۸ و ۷/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) داشت. دلیل این تفاوت بین دو تیمار می‌تواند در مقدار نیترات بالای کمپوست LG-All (جدول ۲) و مقدار جذب بالای آهن (۳۰ درصد بیشتر از تیمار HG-All) و مقدار جذب کم فسفر (۱۹۶ درصد کمتر از تیمار HG-All) توسط گیاه از خاک تیمار شده با کمپوست LG-All باشد (جدول ۶). به‌علاوه، وجود همبستگی مثبت معنادار بین کربن آلی و فسفر فراهم (۰/۳۷۶) بیانگر نقش مواد آلی در افزایش مقدار فسفر فراهم است. هم چنین، تیمار HG-Ch-A مقدار کربن فعال بیشتری (۲۸۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به تیمار LG-Ch-A (۱۷۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) داشت. بین دیگر تیمارهای کمپوست اختلاف معناداری بین دو سطح تفاله انگور مشاهده نشد.

بیشتر نتایج خاکی تیمارهای کمپوست، با ویژگی‌های شیمیایی کمپوست‌های متناظرشان قابل توجیه نبود (جدول ۲ با ۴ مقایسه شود). این می‌تواند تحت تأثیر نسبت کربن به ازت کمپوست (نرخ تجزیه کمپوست)، نقش pH کمپوست و pH خاک در قابلیت فراهمی یا تثبیت عناصر، غلظت عناصر دیگر، نرخ فعالیت بیولوژیکی خاک، مقدار جذب عناصر توسط گیاه و نقش کربن آلی و کربن فعال خاک در قابلیت فراهمی یا تثبیت عناصر باشد. به‌علاوه، لازم به ذکر است که در خاک های تیمار شده، غلظت فراهم عناصر اندازه‌گیری شد، حال آنکه در کمپوست‌های تولید شده، غلظت کل عناصر اندازه‌گیری شد.

مقادیر آمونیوم و پتاسیم در تیمار شاهد به‌طور معناداری بیشتر از تیمارهای شیمیایی بود. مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه در تیمار شاهد حدود ۸۳ درصد کمتر از تیمار C500 بود (جدول ۶)؛ به‌عبارت دیگر، تخلیه‌ی کمتر پتاسیم خاک در تیمار شاهد رخ داده است.

اختلاف معناداری برای تمام شناسه‌ها بین دو تیمار شیمیایی C500 و C150 مشاهده نشد (جدول ۴). علت نبود تفاوت بین دو تیمار شیمیایی می‌تواند تحت تأثیر مقدار عناصر جذب شده توسط گیاه باشد. در تیمار C500 مقدار نیترات جذب شده توسط گیاه حدود ۴۹۶/۴ درصد بیشتر از تیمار C150 بود. همچنین با افزایش جذب نیترات، مقدار جذب عنصر پتاسیم نیز در تیمار C500 به‌طور معناداری (۹۲/۷ درصد) افزایش یافت (جدول ۶). بنابراین تخلیه بیشتر عناصر نیتروژن، پتاسیم و نیترات در تیمار C500 نسبت به تیمار C150 رخ داده است (جدول ۴).

کشت دوم (فصل پاییز)

اختلاف آماری معناداری برای تمام شناسه‌ها، بجز مقادیر سدیم و آهن، در بین تیمارها مشاهده شد. کمترین مقدار pH در تیمار C500 (۸/۳۵) مشاهده شد که تنها با تیمار LG-Ch-B (۸/۵۸) اختلاف معناداری نشان داد (جدول ۴). علت افزایش pH در تیمار LG-Ch-B را می‌تواند pH بالای کمپوست متناظر آن (جدول ۲) و همچنین افزایش pH خاک بعد از یکبار تیمار شدن (کشت اول) توجیه نماید (جدول ۴). مقدار هدایت الکتریکی در تیمار HG-Ch-A (۴۰۵/۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) به‌طور معناداری بیشتر از همه‌ی تیمارها، بجز تیمار HG-Ch-B (۳۱۲/۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر)، بود و کمترین مقدار این ویژگی در تیمار C150 (۱۳۰/۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) مشاهده شد.

مقدار کربن آلی، کربن فعال، پتاسیم، روی و فسفر در تیمارهای

کمپوست به‌طور معناداری بیشتر از تیمارهای شیمیایی و شاهد بود. از آن‌جاکه کمپوست‌ها منابع غنی از عناصر هستند، بنابراین کاربرد پیوسته‌ی این ترکیبات آلی می‌تواند سبب افزایش عناصر غذایی خاک در مقایسه با کود اوره شود. در بین تیمارهای کمپوست، مقدار کربن آلی در تیمار LG-A-B (۱/۰۴ درصد) اختلاف معناداری با تیمارهای HG-A-B، HG-Ch-B و LG-Ch-B (به‌ترتیب ۰/۸۱، ۰/۷۹ و ۰/۷۰ درصد) نشان داد. مقدار کربن فعال در تیمار HG-Ch-A (۴۳۷/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) اختلاف معنادار با تیمارهای HG-A-B و LG-All (به‌ترتیب ۳۴۰/۴ و ۳۴۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نشان داد. روندهای بیان شده برای کربن کل و کربن فعال تحت کنترل اثرات باقی‌مانده کشت اول می‌باشد.

کمترین مقدار نیترات در تیمار LG-All (۲۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد، که اختلاف معناداری با تمام تیمارها، بجز تیمارهای شاهد، HG-Ch-A، HG-Ch-B و HG-All، نشان داد. به نظر می‌رسد با وجود مقدار بالای نیترات در کمپوست LG-All (جدول ۲)، به‌دلیل مقدار جذب بالای نیترات توسط گیاه از خاک‌های تیمار شده با کمپوست‌های LG-All و HG-All، مقدار نیترات خاک کاهش یافته است (جدول ۶). مقدار آمونیوم در تیمار LG-A-B (۲۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌طور معناداری بیشتر از تیمارهای شاهد، شیمیایی، HG-A-B و LG-Ch-B بود.

بیشترین مقدار پتاسیم در تیمار LG-All (۳۲۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که اختلاف معناداری با تمام تیمارها، بجز تیمارهای HG-Ch-A، LG-Ch-A، HG-All و LG-A-B داشت. این مشاهده می‌تواند به‌دلیل مقدار بالای پتاسیم در کمپوست‌های متناظر تیمارهای مذکور (جدول ۲) و همچنین مقدار بالای پتاسیم خاک بعد از کشت اول (اثرات باقی‌مانده) در سه تیمار LG-All، HG-All و LG-A-B باشد (جدول ۴).

تیمار HG-Ch-A بیشترین مقدار منیزیم (۱۰۹/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در بین تیمارها داشت که اختلاف معناداری با تیمارهای شاهد، شیمیایی، HG-All، LG-All و LG-Ch-B نشان داد. این روند همسو با مقدار منیزیم در کمپوست‌های متناظرشان می‌باشد (جدول ۲).

بیشترین مقدار مس در تیمار LG-A-B مشاهده شد، که اختلاف معناداری با تمام تیمارها، بجز LG-All و LG-Ch-B نشان داد. به‌نظر می‌رسد مقدار بالای مس در دو تیمار LG-A-B و LG-All ناشی از اثرات باقی‌مانده‌ی کشت اول (جدول ۴)، و در تیمار LG-Ch-B به‌دلیل جذب کمتر توسط گیاه باشد (جدول ۶). مقدار مس خاک در تیمارهای شیمیایی، HG-Ch-A، HG-Ch-B و HG-All به‌دلیل مقدار جذب بیشتر توسط گیاه کاهش یافت (جدول ۶). تیمار LG-Ch-A بیشترین مقدار روی (۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را داشت که اختلاف معناداری با تمام تیمارها، بجز تیمارهای HG-Ch-A، HG-A-B، LG-A-B و LG-All، نشان داد (جدول ۴). این نتیجه همسو با مقدار کم نسبت کربن به ازت در کمپوست‌های متناظرشان (جدول ۲) بود. پایین بودن نسبت کربن به ازت باعث افزایش نرخ تجزیه و به دنبال آن، افزایش فراهمی عناصر می‌شود.

مقایسه دو سطح تفاله انگور نشان داد که تیمار LG-Ch-B به‌طور معناداری مقدار pH، کلسیم و مس بیشتر، و منیزیم کمتری نسبت به تیمار HG-Ch-B داشت. این مشاهده می‌تواند تحت تأثیر اثرات باقی مانده‌ی کشت اول (جدول ۴)، و همچنین مقدار این جذب این عناصر توسط گیاه (جدول ۶) باشد. همچنین، تیمار LG-A-B به‌طور معناداری مقادیر بیشتری از کربن آلی، نیترات، کلسیم، مس و نسبت کربن به ازت نسبت به تیمار HG-A-B داشت. تفاوت بین این دو تیمار می‌تواند به‌دلیل مقدار بالای نیترات در کمپوست LG-A-B (جدول ۲)، و مقدار بالای کربن آلی، کلسیم، مس و نسبت کربن به ازت در خاک تیمار شده با کمپوست LG-A-B بعد از کشت اول (اثرات باقی‌مانده‌ی کشت اول) باشد (جدول ۴). همچنین، مقدار هدایت الکتریکی در تیمار HG-Ch-A به‌طور معناداری بیشتر از تیمار LG-Ch-A بود.

در فصل دوم نیز بیشتر نتایج خاکی تیمارهای کمپوست، با ویژگی های شیمیایی کمپوست‌های متناظرشان قابل توجیه نبود (دو جدول ۲ و ۴ مقایسه شود). همانطور که قبلا هم بیان شد، تأثیر کمپوست بر غلظت فراهم عناصر خاک تنها تحت تأثیر غلظت این عناصر در کمپوست نمی‌باشد، چرا که عوامل مختلفی نظیر نسبت کربن به ازت کمپوست (مؤثر بر نرخ تجزیه کمپوست)، pH کمپوست و خاک (مؤثر بر قابلیت فراهمی یا تثبیت عناصر)، غلظت عناصر دیگر، نرخ فعالیت بیولوژیکی خاک، مقدار آبشویی، مقدار کربن آلی و مقدار جذب عناصر توسط گیاه نیز بر غلظت فراهم عناصر در خاک تأثیر می‌گذارند.

بین تیمارهای C500، C150 و شاهد هیچ تفاوت معناداری، بجز در مقدار نیترات، مشاهده نشد (جدول ۴). در تیمار C500 به دلیل کاربرد بالای کود اوره و مقدار جذب کمتر نیترات توسط گیاه اسفناج نسبت به تیمار C150 (۷/۳ درصد کمتر)، مقدار نیترات خاک در این تیمار به‌طور معناداری نسبت به تیمار C150 افزایش یافت.

جمع‌بندی نتایج خاکی در دو فصل کشت

در هر دو فصل کشت، مقدار pH و EC در اغلب تیمارهای کمپوست بیشتر از تیمارهای کود شیمیایی و شاهد بود، هر چند این تفاوت‌ها در برخی موارد معنادار نبود (جدول ۴). این نتیجه همسو با یافته‌های روبیو و همکاران (Rubio *et al.*, 2013) در بررسی اثر کمپوست تفاله انگور بر خاک است. به‌طور کلی، رابطه‌ی مستقیمی بین pH و EC خاک با pH و EC کمپوست و کودهای دامی وجود دارد (Aytenew *et al.*, 2020)، به‌طوری‌که استفاده طولانی مدت از این اصلاح‌کننده‌ها، بسته به نوع بقایا و pH اولیه آن‌ها، سبب افزایش (Butler & Miur, 2006) یا کاهش pH (Bastida *et al.*, 2008)

خاک‌ها شده است. این افزایش (یا کاهش) بسته به pH اولیه خاک می‌تواند دارای اهمیت باشد. بنابراین با توجه به مقدار pH و هدایت الکتریکی نسبتا بالای کمپوست‌های به‌کار رفته (جدول ۲)، و همچنین تأثیر این کمپوست‌ها در افزایش pH و هدایت الکتریکی خاک (جدول ۴)، باید در استفاده پیوسته و مقدار زیاد این کمپوست‌ها در خاک‌های مناطق خشک و با pH بالا احتیاط نمود.

مقادیر هدایت الکتریکی (۵۴/۷ تا ۲۳۸/۸ ٪)، کلسیم (۱۰/۳ تا ۳۷/۸ ٪)، سدیم (۴/۷ تا ۵۱/۲ ٪)، روی (۲/۵ تا ۵۸/۶ ٪)، مس (۲/۷ تا ۳۹/۰ ٪) و آهن (۲/۳ تا ۱۴۴/۵ ٪) در همه‌ی تیمارها در کشت دوم نسبت به فصل اول کشت کاهش یافت. این کاهش می‌تواند به‌دلیل آبشویی نمک‌ها و عناصر در پی بارندگی در کشت دوم، جذب عناصر توسط گیاه، افزایش pH، فسفر و کربن آلی خاک به‌ویژه در تیمارهای کمپوست باشد. در فصل دوم کشت افزایش مقدار کربن آلی و کربن فعال در خاک رخ داد. افزایش مقدار مواد آلی خاک با توجه به ماهیت ترکیب آلی اثر متفاوتی بر مقدار فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف خاک دارد. زمانی‌که ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم، نظیر فولویک اسید، با عناصر کم مصرف کلات تشکیل دهند، سبب افزایش فراهمی این عناصر می‌شوند (Stevenson, 2018). از آنجاکه در کمپوست بخش های فعال کربن در طول فرایند کمپوست از بین می‌روند، بنابراین کمپوست یک ترکیب آلی غنی از هیومیک اسید با وزن مولکولی بالا می‌باشد (Gurmu, 2019). هیومیک اسید می‌تواند با عناصر کم‌مصرف کلات تشکیل داده و سبب کاهش فراهمی این عناصر شود. از طرفی برخی از ترکیبات آلی می‌توانند با عناصر کم‌مصرف کمپلکس‌هایی تشکیل دهند که سبب افزایش جذب توسط گیاه و یا آبشویی این عناصر شود (Stevenson, 2018). از طرف دیگر در تیمارهای شیمیایی و شاهد، تنها تخلیه عناصر خاک به‌دلیل جذب عناصر توسط گیاه و عدم ورود عناصر به خاک توسط کود صورت گرفته است. روبیو و همکاران (Rubio *et al*., 2013) بیان کردند که مقدار هدایت الکتریکی خاک های تیمار شده با کمپوست تفاله انگور و شاهد در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای فصل کشت به‌دلیل آبشویی نمک‌ها طی بارندگی، جذب عناصر توسط گیاه و پایداری مواد آلی توسط تشکیل کمپلکس-های هومیک–رس و کلات‌ها کاهش یافت.

روند تغییرات نیترات (۲۴۳/۷– تا ۴۸/۸+ درصد)، آمونیوم (۲۰۶/۶– تا ۳۳/۴+ درصد) و منیزیم (۱۳۸/۹– تا ۵۶/۵+ درصد) در فصل دوم کشت بین تیمارهای کمپوست نسبت به تیمار متناظرشان در فصل اول کشت متفاوت بود. به‌طوری‌که در فصل دوم کشت در بیشتر تیمارها کاهش نیترات، آمونیوم و منیزیم رخ داده بود. علت افزایش این شناسه‌ها در برخی از تیمارها، می‌تواند به‌دلیل مقدار بالای منیزیم، ازت کل، نیترات و آمونیوم در کمپوست متناظرشان باشد (جدول ۲). مقدار بالای منیزیم در کمپوست‌های HG-Ch-A و HG-Ch-B سبب افزایش منیزیم در خاک شد. مقدار بالای نیتروژن کل و نیترات در کمپوست LG-Ch-A (۱/۵ ٪ و ۱۲۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نیتروژن کل در کمپوست HG-A-B (۱/۲٪) سبب افزایش مقدار نیترات در خاک شد. همچنین، مقدار بالای آمونیوم در کمپوست HG-All (۳۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) سبب افزایش آمونیوم خاک شد.

در تیمارهای کمپوست، مقدار کربن آلی نسبت به تیمار C0 در فصل اول کشت بین ۲۲ تا ۴۷ درصد و در فصل دوم کشت بین ۱۷ تا ۷۳ درصد افزایش پیدا کرد. بیشترین افزایش کربن آلی در هر دو فصل کشت مربوط به تیمار LG-A-B بود. مقدار کربن آلی در تیمار C150 نسبت به شاهد در هر دو فصل بین ۴ تا ۹ درصد کاهش و در تیمار C500 بین ۲ تا ۱۰ درصد افزایش یافت. مک کانل و همکاران (McConnell *et al*., 1993) گزارش دادند که کاربرد مقادیر متفاوت کمپوست از ۱۸ تا ۱۴۶ تن در هکتار، سبب افزایش ۶ تا ۱۶۳ درصدی در محتوای مواد آلی خاک شد. مقادیر فسفر (۱۴ تا ۴۴ ٪)، کربن فعال (۱– تا ۱۶۵ ٪)، کربن آلی (۶ تا ۴۵ ٪)، pH (۰/۱ تا ۴/۴ ٪) و نسبت کربن به ازت (۱۰ تا ۹۳ ٪) در تیمارهای کمپوست در فصل دوم کشت، نسبت به فصل اول کشت افزایش یافت. محققان یکی از روش‌های افزایش ماده آلی و حاصلخیزی خاک را استفاده از کمپوست می‌دانند (Machado *et al*., 2020). از طرف دیگر، مقدار جذب فسفر توسط گیاه در فصل اول کشت در همه‌ی تیمارهای کمپوست، به‌جز تیمار LG-All، به مقدار ۴۴ تا ۳۷۰ درصد بیشتر از فصل دوم کشت بود، که این نیز بر کاهش مقدار فسفر خاک در فصل اول کشت تأثیر گذاشته است. یک روند کاهشی در مقادیر تمام شناسه‌ها، بجز مقادیر کربن آلی (۲۳ تا ۳۴ ٪ افزایش)، pH (۲ تا ۴ ٪ افزایش) و نسبت کربن به ازت (۶۳ تا ۹۵ افزایش)، در تیمارهای کود شیمیایی و شاهد در فصل دوم کشت نسبت به فصل اول کشت مشاهده شد. این تخلیه عناصر غذایی خاک در تیمارهای کود شیمیایی و شاهد به‌دلیل جذب توسط گیاه، آبشویی توسط بارندگی و عدم ورود پیوسته عناصر به خاک می‌باشد.

در پایان فصل دوم کشت، مقدار نیتروژن (۲۰ تا ۶۰ درصد)، منیزیم (۱۷ تا ۱۱۶ درصد)، مس (۲ تا ۳۰ درصد)، روی (۲۲ تا ۷۱ درصد)، آمونیوم (۴ تا ۷۴ درصد)، نیترات (۳ تا ۱۶۱ درصد) و هدایت الکتریکی (۲۴ تا ۱۵۳ درصد) در همه‌ی تیمارهای کمپوست نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت؛ تنها استثناء، کاهش محتوای نیترات در تیمار LG-All، و منیزیم در تیمار LG-Ch-B بود. با این وجود، افزایش این شناسه‌ها در بیشتر تیمارهای کمپوست فاقد تفاوت معنادار با تیمار شاهد بود. مقدار جذب بالای نیترات توسط گیاه از خاک تیمار شده با کمپوست LG-All نسبت به تیمار شاهد (۲۲۷ درصد بیشتر از شاهد) می‌تواند علت کاهش محتوای نیترات در تیمار LG-All نسبت به تیمار شاهد باشد (جدول ۶). به‌علاوه، اثرات باقی‌مانده‌ی کشت اول می‌تواند دلیل کاهش منیزیم در تیمار LG-Ch-B نسبت به تیمار شاهد باشد. در مقابل، در پایان فصل دوم کشت، افزایش معنادار در مقدار فسفر (۵۵ تا ۱۱۴ درصد)، پتاسیم (۵۷ تا ۷۹ درصد)، کربن آلی (۱۷ تا ۷۳ درصد) و کربن

فعال (۴۹ تا ۹۲ درصد) در همه‌ی تیمارهای کمپوست نسبت به تیمار شاهد رخ داد. این امر می‌تواند تحت تأثیر ورود این عناصر توسط کمپوست به خاک باشد.

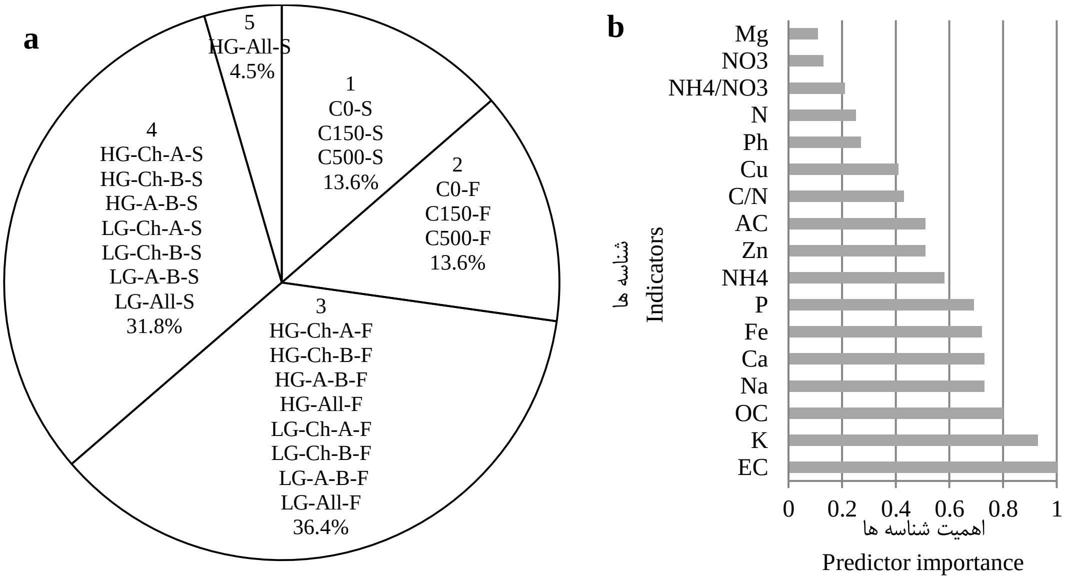
استفاده منظم کمپوست یا کود، باعث افزایش ذخایر P (Mohamed *et al.*, 2007)، C و N خاک، از طریق محافظت فیزیکی این مواد مغذی در درون خاک‌دانه‌های بزرگ می‌شود (Sodhi *et al.*, 2009). دیاکونو و مونتمورو (Diacono & Montemurro, 2011) اظهار داشتند که استفاده مکرر از مواد کمپوست‌شده محتوای نیتروژن آلی خاک را تا ۹۰ درصد افزایش می‌دهد و آن را برای معدنی شدن در فصول زراعی بعدی، اغلب بدون شستشوی نیترات به آب‌های زیرزمینی، ذخیره می‌کند. سطوح بالاتر فسفر در تیمارهای کمپوست نسبت به تیمارهای کود شاهد و شیمیایی می‌تواند به‌دلیل رهاسازی اسیدهای آلی توسط کمپوست‌ها در خاک باشد که منجر به هیدرولیز فسفر آلی می‌شوند، از این رو تغذیه فسفر برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها بهبود می‌یابد (Li *et al.*, 2004). بولاک و همکاران (Bulluck *et al.*, 2002) نشان دادند که غلظت پتاسیم در خاک‌های تیمار شده با کمپوست‌ها به میزان سه برابر افزایش یافت و در پایان سال دوم بیشتر از سال اول بود، در حالی‌که غلظت پتاسیم در خاک‌های تیمار شده با کودهای شیمیایی در طول زمان کاهش یافت. کبیری‌نژاد و هودجی (Kabirinejad & Hoodaji, 2012) به‌طور مشابه نشان دادند که کاربرد کمپوست (۵۰ تن در هکتار) به‌طور معناداری سطح پتاسیم در خاک را افزایش داد.

یکی دیگر از مزایای کمپوست‌ها تأثیر آن‌ها بر عناصر ثانویه (کلسیم، منیزیم، گوگرد) و کم‌مصرف (منگنز، روی، مس و آهن) خاک می‌باشد، چرا که این عناصر به‌ندرت توسط کشاورزان استفاده می‌شود و تأثیر بالقوه‌ای بر عملکرد و سلامت محصول دارند. در فصل دوم کشت، افزایش قابل توجهی در میزان منیزیم در تیمارهای کمپوست، بجز تیمار LG-Ch-B، مشاهده شد. کم بودن مقدار منیزیم در تیمار LG-Ch-B می‌تواند به‌دلیل اثرات باقی‌مانده‌ی کشت اول (جدول ۴) باشد؛ چرا که در کشت اول، مقدار جذب بالای منیزیم توسط گیاه (جدول ۶) سبب تخلیه‌ی بیشتر منیزیم از خاک تیمار شده با کمپوست LG-Ch-B شده است. همچنین مقدار بالای نسبت کربن به ازت (۱۵/۴) در کمپوست LG-Ch-B نسبت به دیگر کمپوست‌ها (جدول ۲) می‌تواند دلیل دیگر کم بودن منیزیم در خاک تیمار شده با کمپوست LG-Ch-B باشد. زمانی‌که نسبت کربن به ازت یک ترکیب آلی بالا باشد، نرخ تجزیه کاهش یافته در نتیجه مقدار رهاسازی عناصر غذایی کاهش پیدا می‌کند. بولاک و همکاران (Bulluck *et al.*, 2002) گزارش کردند که غلظت منیزیم در خاک‌های دارای اصلاح‌کننده‌های آلی در طول دوره ۲ ساله، بیش از دو برابر افزایش یافته است. افزایش جزئی در غلظت منیزیم در خاک‌های حاوی کودهای شیمیایی توسط بولاک و همکاران گزارش شد. غلظت عناصر روی، مس و آهن در فصل دوم کشت نسبت به فصل اول کشت در تمام تیمارها کاهش یافت. کاهش ۱۰ تا ۲۳/۵ درصدی مس و افزایش ۵۳ تا ۶۰ درصدی روی در تیمارهای کمپوست تفاله انگور با نسبت استفاده ۲ و ۴ درصد توسط کاراکا (Karaca, 2004) مشاهده شد. غلظت روی در هر دو فصل، و مس در فصل دوم در تیمارهای کمپوست بیشتر از تیمارهای شاهد و شیمیایی بود. این مشاهده با همبستگی مثبت بین مقدار روی با کربن آلی در هر دو فصل (به‌ترتیب ۰/۵۱۲ و ۰/۵۷۶ برای کشت اول و دوم) و مس با کربن آلی (۰/۳۹۷) در فصل دوم قابل توجیه است. ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2006) گزارش کردند که استفاده متوالی کمپوست به مدت شش سال به‌طور معناداری سبب غلظت‌های بالاتر مس و روی در خاک تیمارهای کمپوست نسبت به شاهد شده است.

خوشه‌بندی تیمارهای خاک

براساس تحلیل خوشه‌ای دو مرحله‌ای، تعداد پنج خوشه برای تیمارهای خاکی هر دو فصل کشت به‌دست آمد (شکل ۱ a). در این تحلیل، از تمام شناسه‌های اندازه‌گیری شده استفاده شد، زیرا این شناسه‌ها اختلاف معناداری بین تیمارها در یک یا هر دو فصل کشت نشان دادند. هدایت الکتریکی، پتاسیم، کربن آلی، سدیم، کلسیم، آهن، فسفر، آمونیوم، روی و کربن فعال، مهم‌ترین فاکتورها در خوشه‌بندی بودند (شکل ۱ b).

اولین خوشه، با کمترین مقدار کربن کل (۰/۴۹ ٪)، pH (۸/۲۱) و نسبت کربن به ازت (۶/۷)، و بالاترین مقدار ازت (۰/۰۷۳ ٪) و آمونیم (۳۴/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از دیگر خوشه‌ها جدا شد و شامل تیمارهای شیمیایی و شاهد کشت اول (C0-S، C150-S وC500-S) بود. خوشه دوم (C0-F، C150-F و C500-F) دارای کمترین مقادیر هدایت الکتریکی، پتاسیم، سدیم، فسفر، آمونیوم، روی، کربن فعال، مس، ازت، منیزیم و نسبت آمونیوم به نیترات در بین تمام خوشه‌ها بود.



شکل ۱- تحلیل خوشه‌ای دو مرحله‌ای برای تیمارهای خاک (a) و اهمیت ویژگی‌های مختلف خاک در خوشه‌بندی (b)

Figure 1- Two-step cluster analysis for soil treatments (a) and importance of soil properties in clustering (b)

خوشه‌ی سوم که شامل تمام تیمارهای کمپوست فصل دوم کشت بود، دارای بیشترین مقدار کربن آلی (۸/۷۸ ٪)، کربن فعال (۳۷۳/۶ میلی‌گرم برکیلوگرم)، فسفر (۲۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، pH (۸/۴۶) و نسبت کربن به ازت (۱۳/۶۵)، و کمترین مقدار کلسیم (۱۱۳۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آهن (۳/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بین دیگر خوشه‌ها بود.

خوشه‌ی چهارم (تمام تیمارهای کمپوست فصل اول کشت، بجز تیمار HG-All-S) و خوشه پنجم (HG-All-S) شباهت زیادی با هم داشتند، به‌طوری‌که مقدار بالای هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم، روی و ازت را در بین دیگر خوشه‌ها داشتند. تفاوت این دو خوشه در مقدار بالای نیترات در خوشه چهارم، و مقدار بالای پتاسیم، آهن، منیزیم، نسبت آمونیوم به نیترات، و مقدار کم نیترات در خوشه‌ی پنجم بود.

با انجام تحلیل خوشه‌بندی، تأثیر تیمارها بر خاک بهتر نمایان می شود، چرا که همزمان تمام شناسه‌های اندازه‌گیری شده مورد بررسی قرار می‌گیرند. در هر دو دوره کشت، تیمارهای کمپوست از تیمارهای شیمیایی و شاهد جدا شدند (شکل ۱ a). بررسی وضعیت مقدار عناصر در تیمارهای شاهد و شیمیایی در کشت پاییز که در خوشه دوم قرار گرفتند نشان می‌دهد که تخلیه عناصر غذایی ازت، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آمونیوم، روی، آهن، مس و کربن فعال در این تیمارها به‌دلیل جذب عناصر توسط گیاه و عدم ورود آنها از طریق کودها اتفاق افتاده است. به‌علاوه، در تیمار C500 به‌دلیل استفاده از سطح بالای کود اوره، افزایش غلظت نیترات رخ داده است. براساس نتایج تجزیه واریانس (مقایسه شناسه‌ها به‌طور جداگانه)، بین برخی از تیمارهای کمپوست تفاوت‌های آماری مشاهده شد (بخش ویژگی‌های شیمیایی خاک)، هر چند این تفاوت در مورد همه شناسه‌ها نبوده است، با این حال مطابق تحلیل خوشه‌بندی، تیمارهای کمپوست هر فصل، بجز تیمار HG-All-S، در یک گروه قرار گرفتند و بنابراین تنها تأثیر زمان (استفاده مجدد) سبب جداسازی تیمارهای کمپوست از همدیگر شد. این بدین معنا است که استفاده مجدد از کمپوست‌ها منجر به حفظ یا افزایش سطح ازت، پتاسیم، فسفر، کربن، کربن فعال، نسبت کربن به ازت، هدایت الکتریکی، سدیم و pH در خاک شده است. تیمار LG-All-S و HG-Ch-A-F با وجود مقدار بالای هدایت الکتریکی و عدم اختلاف معنادار در غلظت سدیم با دیگر تیمارها، دارای مقدار بالای عناصر غذایی می باشند.

عملکرد اسفناج

در کشت اول (بهار)، تیمار LG-Ch-A بیشترین عملکرد (۸۴/۷ و ۱۱/۸ $g\ pot^{-1}$ به‌ترتیب برای وزن تازه و آون خشک)، وزن تر و خشک ریشه (به‌ترتیب ۸/۰ و ۲/۲ $g\ pot^{-1}$) را نسبت به همه‌ی تیمارها داشت، و اختلاف معناداری با تیمارهای LG-All، HG-All، C150 و C0 نشان داد. در تیمار LG-All کمترین عملکرد مشاهده شد (۳۷/۵ و ۵/۴ $g.pot^{-1}$ به‌ترتیب برای وزن تازه و آون خشک). بعد از تیمار LG-Ch-A، تیمارهای HG-Ch-B و C500 عملکرد بهتری نسبت به دیگر تیمارها داشتند (به‌ترتیب ۱۰/۸ و ۱۰ گرم وزن آون خشک در گلدان) و اختلاف معناداری با تیمار LG-All نشان دادند (جدول ۵).

جدول ۵- تأثیر هشت تیمار کمپوست تفاله انگور و دو سطح کود شیمیایی اوره بر عملکرد اسفناج

Table 5- The effect of eight grape pomace composts and two levels of urea fertilizer on yield of spinach

تیمارها Treatments بهار Spring	وزن تازه ساقه و برگ Shoot fresh weight	وزن خشک ساقه و برگ Shoot dry weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	تیمارها Treatments پاییز Fall	وزن تازه ساقه و برگ Shoot fresh weight	وزن خشک ساقه و برگ Shoot dry weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
	g pot^{-1}					g pot^{-1}			
C0	45.1^{cd}	6.5^{bc}	4.1^{b}	1.1^{b}	C0	21.6^{c}	2.8^{b}	6.3^{b}	2.4^{ab}
C150	44.5^{cd}	6.8^{bc}	3.9^{b}	1.0^{b}	C150	41.0^{abc}	5.2^{ab}	11.9^{ab}	3.4^{ab}
C500	74.2^{ab}	10.0^{ab}	5.9^{ab}	1.6^{ab}	C500	40.6^{abc}	4.9^{ab}	8.2^{ab}	2.0^{b}
HG-Ch-A	60.3^{bcd}	7.9^{abc}	6.6^{ab}	1.8^{ab}	HG-Ch-A	43.9^{abc}	5.6^{ab}	18.2^{ab}	4.9^{ab}
HG-Ch-B	68.7^{abc}	10.8^{ab}	6.5^{ab}	1.8^{ab}	HG-Ch-B	29.0^{bc}	3.7^{ab}	11.0^{ab}	4.7^{ab}
HG-A-B	53.4^{bcd}	7.7^{abc}	5.4^{ab}	1.5^{ab}	HG-A-B	29.3^{bc}	3.9^{ab}	9.7^{ab}	4.3^{ab}
HG-All	56.1^{bcd}	7.1^{bc}	4.5^{b}	1.2^{b}	HG-All	48.1^{ab}	6.3^{a}	19.5^{a}	8.0^{a}
LG-Ch-A	84.7^{a}	11.8^{a}	8.0^{a}	2.2^{a}	LG-Ch-A	41.2^{abc}	5.4^{ab}	12.5^{ab}	4.1^{ab}
LG-Ch-B	56.9^{bcd}	8.5^{abc}	5.3^{ab}	1.4^{ab}	LG-Ch-B	26.4^{bc}	3.2^{ab}	7.2^{ab}	2.5^{ab}
LG-A-B	66.2^{abc}	9.6^{abc}	6.7^{ab}	1.8^{ab}	LG-A-B	56.4^{a}	6.4^{a}	13.7^{ab}	3.8^{ab}
LG-All	37.5^{d}	5.4^{c}	3.6^{b}	1.0^{b}	LG-All	49.8^{ab}	6.4^{a}	11.5^{ab}	3.3^{ab}

C0: شاهد؛ C150: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره ۴۶ درصد؛ C500: ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره ۴۶ درصد؛ HG: سطح بالای تفاله انگور؛ LG: سطح کم تفاله انگور؛ A: یونجه؛ B: تفاله چغندر؛ Ch: کاه نخود؛ All: متشکل از تمام مواد اولیه؛ در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت اختلاف معناداری دارند ($p<0.05$).

C0: Control; C150: 150 kg ha^{-1} of urea 46%.; C500: 500 kg ha^{-1} of urea 46%; HG: High level of grape pomace; LG: Low level of grape pomace; A: Alfalfa; B: Sugar beet pulp; Ch: Chickpea straw; All: All three raw materials. Means followed by different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

در کشت دوم، تیمار LG-A-B دارای بیشترین عملکرد (۵۶/۴ و ۶/۴ g pot^{-1} به‌ترتیب برای وزن تازه و آون خشک) بود، و بیشترین شباهت و بیشترین تفاوت را به‌ترتیب با تیمارهای LG-All و C0 داشت. به‌علاوه، این تیمار از نظر وزن تازه اختلاف معناداری با تیمارهای LG-Ch-B، HG-A-B، HG-Ch-B و C0 نشان داد. علی رغم عدم تفاوت معنادار، مقدار عملکرد در تمام تیمارهای کمپوست و کود شیمیایی بیشتر از تیمار شاهد بود. افزایش عملکرد اسفناج با کاربرد کودهای آلی به‌دلیل رهاسازی فسفر، پتاسیم و ازت در طول معدنی‌شدن ترکیب آلی و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد (Mbarki *et al.*, 2008). نجفی و رحیمی (Najafi-Ghiri & Rahimi, 2016) بیان کردند که میزان وزن خشک اسفناج در تیمار ۲ درصد ورمی‌کمپوست به‌طور معناداری بیشتر از تیمار شاهد بود (به‌ترتیب ۲/۱۳ و ۰/۸ گرم در گلدان). میزان عملکرد در تیمارهای کمپوست در هر دو فصل، بین ۰/۲۵ تا ۲/۵ برابر بیشتر از تیمار شاهد، و در فصل بهار بیشتر از تیمار C150 بود (جدول ۵). این نتایج همسو با یافته‌ی ماکادو و همکاران (Machado *et al.*, 2020) و ملانو و بواکوا (Mellano & Bevacqua, 1992) می‌باشد.

در فصل پاییز مقدار عملکرد در تیمار C150 بیشتر از تیمار C500 بود، هرچند این اختلاف معنادار نبود (جدول ۵). گالی و همکاران (Ghaly *et al.*, 2017) بیان کردند که تیمار کود شیمیایی با سطح ۱۰۰٪ سبب افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد در اسفناج شد و با افزایش سطح کود شیمیایی به میزان ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد، شاخص‌های رشد و عملکرد، بجز وزن تر، به میزان قابل توجهی کاهش یافت. در فصل پاییز، میزان عملکرد در تمام تیمارها کمتر از فصل بهار بود (جدول ۵). در فصل بهار با افزایش دما، گیاه رشد بیشتری داشته و سریع وارد فاز گلدهی شد. از طرف دیگر، در فصل پاییز با کاهش دما و حمله‌ی حشرات شدت رشد اسفناج کاهش یافت.

مقدار جذب عناصر غذایی توسط اسفناج

در هر دو فصل کشت، مقدار جذب عناصر غذایی خاک توسط اسفناج اختلاف آماری معناداری بین تیمارها نشان داد (جدول ۶). در فصل اول کشت، تیمار C500 بیشترین جذب پتاسیم، و تیمارهای C150 و LG-All کمترین جذب پتاسیم را در بین تیمارها داشتند. تیمار LG-Ch-A بیشترین مقدار جذب پتاسیم را در بین تیمارهای کمپوست داشت. روند تغییرات مقدار جذب پتاسیم تحت تأثیر مقدار فراهمی پتاسیم و نیتروژن قرار داشت. به‌عبارتی، روابط هم‌افزایی بین نیتروژن و پتاسیم مشاهده شد. به‌طوری‌که با افزایش فراهمی نیتروژن، مقدار جذب پتاسیم و به‌دنبال آن مقدار عملکرد افزایش یافت (جداول ۲، ۵ و ۶). تیمارهای LG-Ch-A و HG-Ch-B به‌دلیل فراهمی بالای نیتروژن، و تیمارهای LG-Ch-B و HG-Ch-B (جدول ۲) به‌دلیل

فراهمی بالای منیزیم، مقدار جذب منیزیم بالاتری نسبت به دیگر تیمارها داشتند (جدول ۶). مقدار جذب فسفر توسط گیاه در تیمارها تحت تأثیر فراهمی فسفر، نیتروژن و پتاسیم قرار داشت. به‌طوری‌که تیمارهای HG-Ch-B، LG-Ch-A و HG-A-B به‌ترتیب بیشترین جذب فسفر را داشتند که اختلاف معناداری با تیمارهای شاهد، شیمیایی و LG-All نشان دادند (جدول ۶). مقدار جذب روی و آهن همسو با مقدار نیتروژن کمپوست و عملکرد بود. تیمار LG-Ch-A به‌دلیل نیتروژن بالای کمپوست و عملکرد بالا، بیشترین جذب روی و آهن، و تیمارهای LG-All و LG-Ch-B به‌دلیل نیتروژن کم کمپوست و عملکرد کم، کم‌ترین جذب روی و آهن را داشتند (جدول ۶). در تیمار C500، افزایش عملکرد همراه با افزایش مقدار جذب نیترات توسط گیاه بود. در حالی‌که در تیمار LG-Ch-A با وجود مقدار بالای نیترات و نیتروژن در کمپوست متناظرش، افزایش عملکرد همراه با افزایش مقدار جذب نیترات نبود. این مشاهده می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تأثیر حضور همزمان دیگر عناصر، به‌ویژه عناصر کم‌مصرف، در افزایش عملکرد، و همچنین نقش عناصر کم‌مصرف، به‌ویژه آهن، در کاهش تجمع نیترات در گیاه باشد. زیرا آهن در ساختار آنزیم‌های کاهنده نیترات حضور دارد (Ghaly *et al*., 2017).

در فصل دوم کشت، تیمار LG-A-B بیشترین مقدار جذب پتاسیم را نسبت به دیگر تیمارها داشت که تنها با تیمارهای شاهد، HG-Ch-B، LG-Ch-B و HG-A-B اختلاف معنادار نشان داد (جدول ۶). فراهمی پتاسیم توسط کمپوست و همچنین مقدار باقیمانده پتاسیم خاک بعد از کشت اول اثر مستقیمی بر روی مقدار جذب پتاسیم داشتند (جداول ۲ و ۴). در تیمارهای شیمیایی با وجود فراهمی کم پتاسیم خاک، مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه اختلاف معناداری با تیمارهای کمپوست نشان نداد. این مشاهده می‌تواند به دلیل فراهمی بالای نیتروژن و وجود رابطه‌ی هم‌افزایی بین این دو عنصر باشد.

جدول ٦- اثر هشت تیمار کمپوست تفاله انگور و دو سطح کود شیمیایی اوره بر مقدار جذب عناصر غذایی توسط اسفناج در دو نوبت کشت

Table 6- The effect of eight grape pomace composts and two levels of urea fertilizer on uptake of nutrient by spinach in two seasons

تیمار Treatment	پتاسیم K	سدیم Na	کلسیم Ca	منیزیم Mg	فسفر P	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	نیترات NO_3^-
					mg pot^{-1}				
بهار Spring									
C0	618.0^{de}	13.1^{bc}	90.4^{abc}	23.7^{cd}	17.8^{def}	5.26^{b}	0.55^{bcd}	0.25^{c}	8.39^{cd}
C150	586.4^{e}	10.4^{c}	66.4^{bc}	25.9^{bcd}	15.6^{ef}	9.19^{ab}	0.52^{bcd}	0.69^{a}	5.78^{d}
C500	1130.3^{a}	18.7^{bc}	121.9^{a}	32.7^{bcd}	17.7^{def}	8.60^{ab}	0.87^{ab}	0.42^{abc}	34.47^{a}
HG-Ch-A	993.8^{abc}	30.0^{ab}	87.6^{abc}	47.8^{abc}	31.5^{a-d}	7.80^{ab}	0.73^{abc}	0.43^{abc}	7.25^{cd}
HG-Ch-B	960.4^{a-d}	21.6^{abc}	116.7^{ab}	60.5^{ab}	40.9^{a}	9.43^{ab}	0.77^{abc}	0.50^{abc}	11.84^{bcd}
HG-A-B	698.6^{cde}	21.0^{abc}	89.6^{abc}	38.9^{bcd}	34.4^{abc}	7.11^{ab}	0.64^{a-d}	0.41^{abc}	10.88^{bcd}
HG-All	752.6^{b-e}	20.7^{abc}	97.8^{abc}	23.7^{cd}	23.4^{cde}	5.29^{b}	0.58^{bcd}	0.26^{bc}	7.35^{cd}
LG-Ch-A	1085.9^{ab}	26.8^{abc}	114.1^{ab}	75.7^{a}	39.3^{ab}	10.70^{a}	0.99^{a}	0.67^{ab}	17.24^{b}
LG-Ch-B	767.3^{b-e}	19.2^{bc}	47.1^{c}	81.0^{a}	19.3^{c-f}	8.22^{ab}	0.42^{cd}	0.51^{abc}	9.94^{bcd}
LG-A-B	1003.4^{abc}	30.0^{ab}	106.9^{ab}	54.6^{abc}	25.4^{b-e}	9.08^{ab}	0.57^{bcd}	0.50^{abc}	14.51^{bc}
LG-All	473.7^{e}	39.0^{a}	69.8^{bc}	12.4^{d}	7.9^{f}	6.90^{ab}	0.30^{d}	0.47^{abc}	12.42^{bcd}
پاییز Fall									
C0	214.1^{c}	5.2^{ab}	10.0^{c}	21.2^{bc}	7.2^{d}	1.38^{b}	0.17^{bc}	0.04^{b}	6.25^{bc}
C150	396.8^{abc}	5.9^{ab}	20.3^{bc}	43.6^{a}	12.3^{a-d}	2.14^{ab}	0.28^{ab}	0.08^{a}	11.30^{abc}
C500	368.3^{abc}	2.6^{b}	25.2^{abc}	33.7^{abc}	12.6^{a-d}	2.69^{ab}	0.26^{abc}	0.07^{ab}	10.53^{abc}
HG-Ch-A	455.9^{ab}	5.0^{ab}	30.9^{ab}	36.1^{abc}	13.6^{a-d}	2.75^{ab}	0.27^{ab}	0.08^{a}	9.44^{abc}
HG-Ch-B	295.0^{bc}	5.2^{ab}	22.3^{abc}	18.1^{c}	8.7^{cd}	1.81^{ab}	0.17^{bc}	0.03^{b}	8.98^{abc}
HG-A-B	303.6^{bc}	2.6^{b}	19.0^{bc}	18.6^{c}	8.9^{bcd}	1.16^{b}	0.13^{c}	0.03^{b}	6.22^{bc}
HG-All	405.4^{abc}	2.9^{b}	29.2^{abc}	28.4^{bc}	15.7^{ab}	2.92^{a}	0.31^{a}	0.07^{ab}	17.49^{ab}
LG-Ch-A	439.4^{abc}	2.6^{b}	22.3^{abc}	39.1^{abc}	14.5^{abc}	1.89^{ab}	0.24^{abc}	0.04^{b}	14.47^{abc}
LG-Ch-B	272.7^{bc}	5.5^{ab}	16.4^{bc}	18.7^{c}	8.6^{cd}	1.19^{b}	0.14^{bc}	0.03^{b}	4.52^{c}
LG-A-B	539.2^{a}	9.1^{a}	41.5^{a}	40.5^{ab}	17.6^{a}	3.07^{a}	0.29^{a}	0.07^{ab}	14.15^{abc}
LG-All	488.6^{ab}	8.3^{ab}	32.1^{ab}	40.5^{ab}	16.0^{a}	1.24^{b}	0.28^{ab}	0.07^{ab}	20.45^{a}

C0: شاهد؛ C150: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره ۴۶ درصد؛ C500: ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره ۴۶ درصد؛ HG: سطح بالای تفاله انگور؛ LG: سطح کم تفاله انگور؛ A: یونجه؛ B: تفاله چغندر؛ Ch: کاه نخود؛ All: متشکل از تمام مواد اولیه؛ در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری دارند ($p<0.05$).

C0: Control; C150: 150 kg ha^{-1} of urea; C500: 500 kg ha^{-1} of urea; HG: High level of grape pomace; LG: Low level of grape pomace; A: Alfalfa; B: Sugar beet pulp; Ch: Chickpea straw; All: Composed of all raw materials. Means followed by different letters within a column are significantly different ($p<0.05$).

جذب منیزیم و کلسیم توسط گیاه نیز همانند پتاسیم، تحت تأثیر فراهمی منیزیم توسط کمپوست، مقدار منیزیم فراهم موجود در خاک بعد از کشت اول، نسبت کربن به ازت کمپوست، رابطه‌ی هم‌آوردی منیزیم با کلسیم، و مقدار عملکرد بود. مقدار جذب فسفر توسط گیاه در بین تیمارها مشابه مقدار جذب پتاسیم بود. به‌طوری‌که تیمارهای LG-A-B و LG-All به‌دلیل مقدار بالای پتاسیم فراهم خاک بعد از کشت اول، مقدار بالای فسفر فراهم خاک بعد از کشت اول، و عملکرد بالا، بیشترین جذب فسفر را داشتند، و اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار شاهد نشان دادند. کومولاف و همکاران (Komolafe *et al*., 2021) مشاهده کردند که مقدار جذب فسفر و پتاسیم توسط گیاه ذرت در تیمارهای کمپوست به‌طور معناداری بیشتر از تیمار شاهد بود. تیمارهای LG-A-B و HG-All بیشترین جذب روی و آهن را داشتند که اختلاف معناداری با تیمارهای شاهد، LG-Ch-B و HG-A-B نشان دادند. این مشاهدات همسو با مقدار بالای آهن، روی و پتاسیم کمپوست متناظرشان، پتاسیم فراهم خاک بعد از کشت اول و عملکرد بود. رضایی و همکاران (Rezaee *et al*., 2021) گزارش کردند که مقدار جذب روی توسط گندم در تیمار کمپوست (۸۲ میلی‌گرم بر گلدان) به‌طور معناداری بیشتر از تیمار شاهد (۵۷ میلی‌گرم بر گلدان) و تیمار شیمیایی سولفات روی (۶۸ میلی‌گرم بر گلدان) بود. بیشترین جذب نیترات در تیمار LG-All مشاهده شد که اختلاف معناداری با تیمارهای شاهد، LG-Ch-B و HG-A-B نشان داد. نتایج مشاهده شده برای نیترات تحت تأثیر مقدار نیترات در کمپوست متناظرشان، پتاسیم فراهم خاک بعد از کشت اول و عملکرد گیاه بود.

نتیجه‌گیری

استفاده از کود شیمیایی اوره در دو سطح و کمپوست‌های تهیه شده از ترکیب دو سطح (کم و زیاد) تفاله انگور همراه با یونجه، کاه نخود و تفاله چغندر در دو فصل کشت، بر عملکرد اسفناج بین تیمار کود شیمیایی سطح بالا و تیمارهای کمپوست تفاوت معناداری نداشت، ولی نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش عملکرد شد. در مقابل، تیمارهای شیمیایی و کمپوست اثرات متفاوتی بر خاک و مقدار جذب عناصر توسط اسفناج داشتند. مقدار جذب عناصر توسط گیاه تحت تاثیر نوع عنصر، فراهمی آن در خاک، مقدار اولیه آن در کود یا کمپوست، pH خاک و عملکرد بود. در کشت دوم علاوه بر عوامل یادشده، اثرات باقیمانده کشت اول بر فراهمی عناصر نیز بر مقدار جذب آنها تأثیر داشت. به طوری‌که در فصل دوم کشت، تیمار یونجه، تفاله چغندر با سطح تفاله انگور کم (LG-A-B)، بیشترین مقدار جذب تمام عناصر به‌جز روی و نیترات را به‌دلیل مقدار عملکرد بالا، فراهمی بیشتر عناصر در خاک، حاصلخیزی بالای کمپوست و مقدار کم نسبت کربن به نیتروژن کمپوست داشت. استفاده از کمپوست‌های تفاله انگور در دو نوبت سبب افزایش محتوای ازت، فسفر، پتاسیم، منیزیم، روی، مس، کربن فعال و کربن آلی در خاک شد. از آنجایی که کاربرد عناصری نظیر منیزیم، مس و روی توسط کشاورزان به ندرت صورت می‌گیرد، این نتایج بسیار حائز اهمیت است. در مقابل، تخلیه تمام عناصر، بجز کربن آلی، در تیمارهای کود شیمیایی و شاهد به‌دلیل جذب توسط گیاه و عدم تأمین آن از طریق کود اتفاق افتاد. از طرف دیگر، افزایش غلظت نیترات خاک در تیمار سطح دوم کود شیمیایی رخ داد. مقدار فراهم عناصر خاک تحت تأثیر مقدار ورود عناصر به خاک توسط کود یا کمپوست، مقدار جذب عناصر توسط گیاه و همچنین pH خاک بود. بعد از دو نوبت استفاده از کمپوست، تیمارهای کمپوستِ متشکل از تمام مواد اولیه در هر دو سطح تفاله انگور به‌عنوان بهترین تیمارهای افزایش‌دهنده حاصلخیزی خاک و کاهش‌دهنده مقدار هدایت الکتریکی و نیترات بودند. تیمار کاه نخود، یونجه با سطح تفاله انگور بالا با وجود افزایش سطح هدایت الکتریکی خاک، حاصلخیزی بالایی بعد از تیمارهای متشکل از تمام مواد اولیه داشت. تیمار کاه نخود، تفاله چغندر با سطح تفاله انگور کم به‌عنوان ضعیف‌ترین تیمار کمپوست به دلیل کربن آلی و حاصلخیزی کم، افزایش pH خاک، جذب کم عناصر توسط گیاه و عملکرد کم شناخته شد. با وجود تأثیر مثبت کمپوست‌های تفاله انگور در افزایش حاصلخیزی خاک، کاربرد مقادیر بالا و پیوسته این کمپوست‌ها به‌دلیل افزایش مقدار pH، هدایت الکتریکی و سدیم در خاک‌های مناطق خشک، به‌ویژه خاک‌های قلیایی و شور، دارای محدودیت است. تفاوت بین تیمارهای کمپوست پس از دو مرحله کاربرد کمپوست، کمتر از یکبار کاربرد کمپوست بود؛ این نتایج با نتایج تحلیل خوشه‌بندی تأیید شد به‌طوری‌که تمام تیمارهای کمپوست در فصل دوم در یک خوشه قرار گرفتند.

References

1. Agriculture Jihad Organization of Hamedan Province. (2022). Basic statistics of 2021, Deputy of planning and economic affairs, Department of Statistics and Information Technology. Hamedan.
2. Ajila, C.M., Brar, S.K., Verma, M., & Prasada Rao, U.J.S. (2012). Sustainable solutions for agro processing waste management: An overview. *In Environmental Protection Strategies for Sustainable Development*, 65–109. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1591-2_3
3. Aytenew, M., & Bore, G. (2020). Effects of organic amendments on soil fertility and environmental quality: A review. *Journal of Plant Sciences*, *8*(5), 112. https://doi.org/10.11648/j.jps.20200805.12

4. Bastida, F., Kandeler, E., Hernández, T., & García, C. (2008). Long-term effect of municipal solid waste amendment on microbial abundance and humus-associated enzyme activities under semiarid conditions. *Microbial Ecology*, *55*(4), 651–661. https://doi.org/10.1007/s00248-007-9308-0
5. Bernal, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A., & Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, *63*(1), 91–99. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00084-9
6. Bulluck, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K., & Ristaino, J.B. (2002). Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, *19*(2), 147–160. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00187-1
7. Butler, T.J., & Muir, J.P. (2006). Dairy manure compost improves soil and increases tall wheatgrass yield. *Agronomy Journal*, *98*(4), 1090–1096. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0348
8. Cataldo, D.A., Haroon, M.H., Schrader, L.E., & Youngs, V.L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *6*(1), 71–80. https://doi.org/10.1080/00103627509366547
9. Cheng, K.L., & Bray, R.H. (1951). Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. *Soil Science*, *72*(6), 449–458. https://doi.org/10.1097/00010694-195112000-00005
10. CQCC- California Compost Quality Council. (2001). compost maturity index. 26.
11. Diacono, M., & Montemurro, F. (2011). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Sustainable Agriculture*, *2*, 761–786. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_34
12. Eleonora, N., Alina, D., Erzsebet, K., & Valeria, C. (2014). Grape pomace as fertilizer. *Forestry and Biotechnology*, *18*(2), 141–145.
13. Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of Soil , Plant , and Water Analysis : A manual for the West Asia and North* (Third Edit). international center for agricultural research in the dry areas.
14. Fincheira-Robles, P., Martínez-Salgado, M., Ortega-Blu, R., & Janssens, M. (2016). Compost and humic substance effects on soil parameters of Vitis vinifera L cv Thompson seedless. *Scientia Agropecuaria*, *7*, 291–296. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.17
15. Ghaly, F., Baddour, G., & El-Azazy, H. (2017). Nitrate accumulation and oxalate formation in spinach plants (*Spinacia oleracea* L.) as affected by nitrogen fertilization levels and iron foliar application. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, *8*(11), 571–576. https://doi.org/10.21608/jssae.2017.38092
16. Gurmu, G. (2019). Soil organic matter and its role in soil health and crop productivity improvement. *Journal of Agricultural Science and Research*, *7*(7), 475–483.
17. Hansen, L., Noe, E., & Højring, K. (2006). Nature and nature values in organic agriculture. An analysis of contested concepts and values among different actors in organic farming. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, *19*(2), 147–168. https://doi.org/10.1007/s10806-005-1804-y
18. Hendershot, W., Lalande, H., & Duquette, M. (2007). *Soil Reaction and Exchangeable Acidity*. In E. Carter, M.R., Gregorich (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition (p. 1224). https://doi.org/10.1201/9781420005271.ch16
19. Huang, C.Y.L., & Schulte, E.E. (1985). Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *16*(9), 943–958. https://doi.org/10.1080/00103628509367657
20. Kabirinejad, S., & Hoodaji, M. (2012). The effects of biosolid application on soil chemical properties and *Zea mays* nutrition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *1*(1), 4. https://doi.org/10.1186/2251-7715-1-4
21. Karaca, A. (2004). Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in soil. *Geoderma*, *122*(2-4 SPEC. IIS.), 297–303. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.016
22. Klute, A. (1966). "Methods and soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 432–449.
23. Komolafe, A.F., Adejuyigbe, C.O., Babalola, O.A., Soretire, A.A., & Kayode, C.O. (2021). Fertilizer values of composts as affected by plant materials and composting duration on maize (*Zea mays*) performance. *Agro-Science*, *20*(1), 87–94. https://doi.org/10.4314/as.v20i1.14
24. Li, L., Tang, C., Rengel, Z., & Zhang, F.S. (2004). Calcium, magnesium and microelement uptake as affected by phosphorus sources and interspecific root interactions between wheat and chickpea. *Plant and Soil*, *261*(1–2), 29–37. https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000035579.39823.16
25. Lindsay, W.L., & Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Science Society of America Journal*, *42*(3), 421–428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x
26. Machado, R.M.A., Alves-Pereira, I., Lourenço, D., & Ferreira, R.M.A. (2020). Effect of organic compost and inorganic nitrogen fertigation on spinach growth, phytochemical accumulation and antioxidant activity. *Heliyon*, *6*(9). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05085
27. Martínez, M.M., Ortega, R., Janssens, M., & Fincheira, P. (2018). Use of organic amendments in table grape: Effect on plant root system and soil quality indicators. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *18*(1), 100–112.

https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005000501

28. Mbarki, S., Labidi, N., Mahmoudi, H., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2008). Contrasting effects of municipal compost on alfalfa growth in clay and in sandy soils: N, P, K, content and heavy metal toxicity. *Bioresource Technology*, *99*(15), 6745–6750. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.010
29. McConnell, D.B., Shiralipour, A., & Smith, W.H. (1993). Compost application improves soil properties. *BioCycle*, *34*(4), 61–63.
30. Mellano, V.J., & Bevacqua, R.F. (1992). Sewage sludge compost as a soil amendment for horticultural crops. *HortScience*, *27*(6), 697a–697. https://doi.org/10.21273/hortsci.27.6.697a
31. Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, *65*, 28–41. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051
32. Mohamed, A., Ali, O., & Matloub, M. (2007). *Effect of soil amendments on some physical and chemical properties of some soils of Egypt under saline irrigation water*. Society Conference, El-Minia, Egypt, 8, 1571–1578.
33. Motsara, M.R., & Roy, R.N. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. *Fao Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 19*, 219.
34. Najafi-Ghiri, M., & Rahimi, T. (2016). Zinc uptake by Spinach (*Spinacia oleracea* L.) as affected by zn application rate, Zeolite, and Vermicompost. *Compost Science and Utilization*, *24*(3), 203–207. https://doi.org/10.1080/1065657X.2015.1124818
35. Nerantzis, E.T., & Tataridis, P. (2006). Integrated enology utilization of winery by-products into high added value products. *E-Journal of Science and Technology*, *1*(3), 79–89.
36. Olsen, S.R., Cole, C.V, Watandbe, F., & Dean, L. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.
37. Papadimitriou, E. K., Chatjipavlidis, I., & Balis, C. (1997). Application of composting to olive mill wastewater treatment. *Environmental Technology* (United Kingdom), *18*(1), 101–107. https://doi.org/10.1080/09593331808616517
38. Rezaee, Z., Norouzi Masir, M., & Moezzi, A. (2021). Effect of compost and biochar of bagasses on zinc uptake and growth indices of Wheat under greenhouse condition. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization*, (Scientific Journal of Agriculture), *44*(2), 255–274.
39. Rhoades, J.D. (1996). *Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids*. In Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods (pp. 417–435). https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14
40. Riley, J.P., & Sinhaseni, P. (1957). The determination of ammonia and total ionic inorganic nitrogen in sea water. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, *36*(1), 161–168. https://doi.org/10.1017/S0025315400017161
41. Rubio, R., Pérez-Murcia, M.D., Agulló, E., Bustamante, M.A., Sánchez, C., Paredes, C., & Moral, R. (2013). Recycling of agro-food wastes into vineyards by composting: agronomic validation in field conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *44*(1–4), 502–516. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.744152
42. Rutherford, P.M., McGill, W.B., Arocena, J.M., & Figueiredo, C.T. (2008). *Total Nitrogen*. In M. R. Carter & E. G. Gregorich (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis (Second Edi, pp. 239–250). Canadian society of soil science. https://doi.org/10.1201/9781420005271-30
43. Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M.P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, *78*(3), 301–308. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00031-1
44. SAS Institute Inc. (2013). SAS/ACCESS® 9.4 Interface to ADABAS: Reference. (9.4). Cary, NC: SAS Institute Inc.
45. Sodhi, G.P.S., Beri, V., & Benbi, D.K. (2009). Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system. *Soil and Tillage Research*, *103*(2), 412–418. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.12.005
46. Stevenson, F.J. (2018). Organic matter-micronutrient reactions in soil. *Micronutrients in Agriculture*, 145–186. https://doi.org/10.2136/sssabookser4.2ed.c6
47. Ugwuoke, C.U., Monwuba, N., Onu, F.M., Shimave, A.G., Okonkwo, E.N., & Opurum, C.C. (2018). Impact of agricultural waste on sustainable environment and health of rural women. *Civil and Environmental Research*, *10*(9), 1–9.
48. Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., & Termorshuizen, A. (2016). *Handbook for composting and compost use in organic horticulture*. In A. J. Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen (Ed.), Veer Ecology. https://doi.org/10.18174/375218
49. Vendrell, P.F., & Zupancic, J. (1990). Determination of soil nitrate by transnitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *21*(13–16), 1705–1713. https://doi.org/10.1080/00103629009368334
50. Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter,

and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science 37*(1), 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

51. Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M., Gruver, J.B., & Samson-Liebig, S.E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, *18*(1), 3–17. https://doi.org/10.1079/ajaa2003003
52. Yeomans, J.C., & Bremner, J.M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil1. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *19*(13), 1467–1476. https://doi.org/10.1080/00103628809368027
53. Zhao, B., Maeda, M., Zhang, J., Zhu, A., & Ozaki, Y. (2006). Accumulation and chemical fractionation of heavy metals in andisols after a different, 6-year fertilization management. *Environmental Science and Pollution Research*, *13*(2), 90–97. https://doi.org/10.1065/espr2005.06.268
54. Zheljazkov, V.D., & Warman, P.R. (2002). Comparison of three digestion methods for the recovery of 17 plant essential nutrients and trace elements from six composts. *Compost Science and Utilization*, *10*(3), 197–203. https://doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702081